



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Escola Universitaria de Arquitectura Técnica

Sistemas vexetais verticais

con especies autóctonas galegas
en elementos auxiliares de obra

Proxecto fin de carreira

Alumno: Pablo Muíños Mayán
Directora: Dona Patricia Alonso Alonso

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. MOTIVACIÓN.....	9
1.2. OBXECTIVOS E METODOLOXÍA.....	9
1.3. OUTRAS CONSIDERACIÓNS.....	10
2. SISTEMAS VEXETAIS VERTICAIS.....	11
2.1. INTRODUCCIÓN.....	11
2.2. PERCORRIDO HISTÓRICO.....	12
2.2.1. A VEXETACIÓN NA ARQUITECTURA.....	12
2.2.2. ORIXES DOS SISTEMAS VEXETAIS VERTICAIS.....	14
2.3. VANTAXES E INCONVENIENTES.....	16
2.3.1. VANTAXES.....	16
2.3.1.1. Mellora do Illamento térmico.....	16
2.3.1.1.1. Introducción.....	16
2.3.1.1.2. Efectos adversos.....	16
2.3.1.1.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	16
2.3.1.2. Mellora da Inercia térmica.....	22
2.3.1.2.1. Introducción.....	22
2.3.1.2.2. Efectos adversos.....	23
2.3.1.2.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	23
2.3.1.3. Capacidade Refrixerante.....	25
2.3.1.3.1. Introducción.....	25
2.3.1.3.2. Efectos adversos.....	25
2.3.1.3.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	26
2.3.1.4. Protección fronte á radiación solar.....	33
2.3.1.4.1. Introducción.....	33
2.3.1.4.2. Efectos adversos.....	35
2.3.1.4.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	37
2.3.1.5. Absorción do CO ₂	41
2.3.1.5.1. Introducción.....	41
2.3.1.5.2. Efectos adversos.....	42
2.3.1.5.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	42
2.3.1.6. Captación de contaminantes e partículas.....	45
2.3.1.6.1. Introducción.....	45
2.3.1.6.2. Efectos adversos.....	53
2.3.1.6.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	60
2.3.1.7. Melloras das condicións acústicas.....	69

2.3.1.7.1. Introducción.....	69
2.3.1.7.2. Efectos adversos.....	71
2.3.1.7.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais.....	72
2.3.1.8. Outras vantaxes.....	76
2.3.1.8.1. Mellora da estética.....	76
2.3.1.8.2. Aspectos psicolóxicos.....	77
2.3.1.8.3. Fomento da biodiversidade.....	77
2.3.1.8.4. Retención da auga de chuvia.....	78
2.3.1.8.5. Produción de alimentos.....	79
2.3.1.8.6. Aspectos económicos.....	79
2.3.2. INCONVENIENTES.....	81
2.3.2.1. Custos.....	81
2.3.2.2. Peso.....	82
2.3.2.3. Consumo de auga.....	83
2.3.2.4. Posibilidade de danos da vexetación aos soportes.....	84
2.4. TIPOLOXÍA.....	85
2.4.1. NACIDAS NO SOLO.....	86
2.4.1.1. Tradicionais.....	87
2.4.1.2. Dobre pel.....	90
2.4.2. NACIDAS NO PARAMENTO.....	95
2.4.2.1. Con substrato.....	95
2.4.2.1.1. Disposición horizontal do substrato.....	96
2.4.2.1.2. Disposición vertical do substrato.....	103
2.4.2.1.3. Disposición tridimensional do substrato.....	113
2.4.2.2. Sen substrato (Sistemas hidropónicos).....	120
2.4.2.2.1. Hidropónico.....	121
2.4.2.2.2. Aeropónico.....	132
2.5. CONCLUSIÓN.....	138
2.5.1. ANÁLISE DAS PRESTACIÓNS.....	138
2.5.2. COMPARATIVA DOS DISTINTOS TIPOS DE SISTEMA.....	144
3. PLANTAS AUTÓCTONAS.....	150
4. ELEMENTOS AUXILIARES DE OBRA.....	160
5. APLICACIÓN DE SISTEMAS VERTICAIS VEXETAIS CON PLANTAS AUTÓCTONAS EN ELEMENTOS AUXILIARES DE OBRA.....	161
5.1. EXEMPLO 1:.....	161
5.2. EXEMPLO 2:.....	166
6. CONCLUSIÓN.....	173
7. BIBLIOGRAFÍA.....	175

Índice de ilustracións

Ilustración 1: Reconstrución dos xardíns de Babilonia, debuxada por Terry Ball (fonte: Dalley, 2013).....	13
Ilustración 2: Mapa de evapotranspiración potencial anual de Galicia. Expresado en mm de auga, equivalente a litros por m ² (fonte: Martínez Cortizas, Castillo Rodríguez, Pérez Alberti, Valcárcel Díaz, & Blanco Chao, 1999).....	26
Ilustración 3: Modos de fixación das plantas gabeadoras (fonte: Coetapac, 1995).....	87
Ilustración 4: Pasos da montaxe: Instalación da peza principal sobre a ancoraxe (1), introdución do cable (2), axuste da peza abrazadeira (3) (fonte: Stahl, 2015a).....	94
Ilustración 5: Módulos do sistema: despece e sistema de suxeición.....	101
Ilustración 6: Sección vertical pola canle, onde se observa o encaixe das pezas. O espazo por debaixo da reixa drenante é cuberto de auga. Unha vez cuberto, a auga reborda baixando para encher o modulo inferior. (fonte: Brimat, -b).....	102
Ilustración 7: Forma do módulo, onde se aprecian os orificios de entrada e saída de auga (1 e 4), así como o depósito (2) e o lugar onde irán as plantas (3) (fonte: Paisaje Vertical, -b).....	109
Ilustración 8: Método de montaxe (fonte: Paisaje Vertical, -a).....	110
Ilustración 9: Compoñentes do sistema hidropónico de p. Blanc (fonte: Shevory, 2010)	129
Ilustración 10: Vista en sección do sistema nébula (fonte: Urbanarbolismo).....	137
Ilustración 11: Á esquerda, ilustracións do xénero polypodium (o fento dos valos polypodium vulgare é o situado máis á dereita), e á dereita, a cabriña (davallia canariensis) (fonte: Gálvez).....	166
Ilustración 12: Aspecto final do sistema.....	172

Índice de imaxes

Imaxe 1: Xacemento de Newgrange, en Irlanda (fonte: Newgrange).....	12
Imaxe 2: Casa feita con turba. Obsérvase a distribución en espiga dos bloques de turba, que eran secados previamente (fonte: Clydevk, 2012-2015).....	14
Imaxe 3: Xardín vertical da Cité des Sciences et de l'industrie de la Villette, o que supuxo un punto de inflexión no desenvolvemento dos sistemas vexetais verticais (fonte : Blanc, -a).....	15
Imaxe 4: Exemplo de sistema vexetal vertical tradicional na Universidade de Chicago (fonte: Spikebrennan, 2007).....	88
Imaxe 5: Sistema de cables, da empresa BRIMAT (fonte: Brimat, -a).....	90
Imaxe 6: Entramado de reixas preparado para ser gabeado, da empresa GREENSCREEN (fonte: Greenscreen®).....	91
Imaxe 7: Detalle dunha ancoraxe (fonte: Stahl, 2015a).....	93
Imaxe 8: Posibilidades de disposición dos cables (fonte: Stahl, 2015a).....	94
Imaxe 9: Mostra dun sistema xa instalado (fonte: Stahl, 2015b).....	95
Imaxe 10: Exemplo dun patio cordobés, que pode ser considerado coma un sistema vexetal vertical elemental con substrato horizontal (fonte: Zori del Amo).....	96
Imaxe 11: Uso de árbores no "Bosco Verticale" de Stefano Boeri, en Milán.....	97
Imaxe 12: Sistema modular de petos de feltro, da empresa VERTIFLOR.....	98
Imaxe 13: Mostra do sistema instalado (fonte: Brimat, -b).....	102
Imaxe 14: Fachada vexetal con pranchas de aluminio perforadas, no STM de Donosti	103
Imaxe 15: Detalle de Puppy, o can florido ao carón do Museo Guggenheim, Bilbao. Pódese observar a súa estrutura de malla metálica e o seu revestimento de tea....	104
Imaxe 16: Sistema VERTIPACK. Plantado en horizontal e suxeito posteriormente por reixa metálica. (fonte: Le Prieuré Vegetal i.D.).....	105
Imaxe 17: Módulo sen plantar con substrato estabilizado da empresa ENVOLVENTEC (fonte: Envolventec).....	106
Imaxe 18: Mostra final do sistema (fonte: Paisaje Vertical, -b).....	112
Imaxe 19: Exemplo de sistema tridimensional con forma variable, realizado por Urbanarbolismo en Vitoria Gasteiz.....	113
Imaxe 20: Módulos estilo gabións, da empresa AIR-GARDEN, con todas as caras vexetadas, excepto a base. (fonte: Air Garden, 2015a).....	114
Imaxe 21: Tipos de soporte: final, de cruz, en T, de esquina, lineal, e de acometida (fonte: (Air Garden, 2015a).....	117
Imaxe 22: Exemplo de cesta modular. Obsérvanse as dúas ancoraxes listas para parafusar aos soportes, así como os orificios para introducir estas ancoraxes no caso	

de usar outro sistema de soporte (fonte: (Air Garden, 2015a).....	118
Imaxe 23: Módulo especial para a conexión do sistema de rega (fonte: Air Garden, 2015a).....	118
Imaxe 24: Detalle da unión dunha cesta co soporte. Obsérvase a ancoraxe cesta-soporte, a unión do tubo de rega, as sacas coas plantas, así como o perfil que axuda a mantelas abertas (fonte: Air Garden, 2015a).....	119
Imaxe 25: Aspecto final dun sistema deste tipo, de dúas ringleiras. Utilizáronse dúas cestas de tamaño non estándar (fonte: Air Garden, 2015a).....	120
Imaxe 26: Exemplo de cultivo de leitugas en sistemas estáticos: método de raíz flotante . (fonte: Hidroponia Argentina).....	123
Imaxe 27: Sistema hidropónico lineal caseiro, feito con botellas de plástico (fonte: Agrounica).....	124
Imaxe 28: Sistema hidropónico NFT nunha autoestrada na Arxentina.....	125
Imaxe 29: Montaxe caseiro dun sistema hidropónico superficial. (fonte: Ikonta, 2006)	126
Imaxe 30: Detalle da montaxe das plantas nas láminas de feltro, nun sistema deste tipo instalado no Parc Floral de París (fonte: aguaribay, 2005).....	130
Imaxe 31: Aspecto final dun xardín vertical utilizando este sistema, situado no Quai Branly Museum de París (fonte: Blanc, -b).....	131
Imaxe 32: Exemplar de Tillandsia.....	133
Imaxe 33: Marco para o uso de epífitas en interiores. As plantas suxeitanse cunha simple malla. (fonte: Rosen).....	134
Imaxe 34: Exemplo de palé de tipo europeo ((Bachiller, 2015)).....	162
Imaxe 35: Exemplo de estada con dous traveseiros.....	163
Imaxe 36: Unión de dous postes cunha suxeición de forma Ω	164
Imaxe 37: Aspecto de sistemas deste tipo. Neste caso, está suxeitado a un paramento (non a un elemento auxiliar de obra) (fonte: aguaribay).....	165
Imaxe 38: Exemplo de malla volumétrica (fonte: Geotexan).....	167
Imaxe 39: Detalle dos rizomas da cabriña (os do fento dos valos son algo menos grosos). Esta especie tamén é denominada pata de coello, debido á pelosidade branca dos rizomas (fonte: Oliver Fronteriz, 2013).....	168
Imaxe 40: Exemplo de valado onde poder instalar este sistema.....	169
Imaxe 41: Tipo de ancoraxe con broche circular para malla.....	170
Imaxe 42: Exemplo de porta nebulizador flexible (esquerda), conexión en “T” (dereita arriba), e nebulizador (dereita abaixo) (fonte: Drip&Fresh).....	171

Índice de táboas

Táboa 1: Fluxo de zume diario e enerxía equivalente de arrefriamento por transpiración de tres especies de plantas gabeadoras, medido nos períodos que se sinalan (fonte: Hoelscher et al., 2015).....	32
Táboa 2: Reducións de certos COV ante a presenza de certas especies de plantas en experimentos en cámaras, en exposicións de 24 h (adaptación de Wolverton, Johnson, et al., 1989).....	66
Táboa 3: Presenza de monóxido de carbono e de dióxido de nitróxeno en experimentos en cámaras (baleiras, con maceta e substrato, ou con maceta, substrato e planta) en función do tempo (fonte: Wolverton & McDonald, 1985).....	67
Táboa 4: Resumo das características dos distintos tipos de sistemas vexetais verticais	149

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

O presente traballo xorde como unha alternativa para intentar minimizar o impacto negativo da obra, dando un paso máis na aplicación dos sistemas vexetais verticais e abrindo a posibilidade de que non só se usen na obra finalizada, senón tamén durante o proceso construtivo.

A obra supón unha eventualidade que altera o ritmo e o aspecto da contorna, o que dá lugar a impactos negativos de diferente tipo. Aproveitando algunhas das características dos sistemas vexetais verticais, trataremos de minimizar eses impactos negativos, facendo da obra un lugar máis amigable, tanto para os traballadores como para persoas alleas.

Para alén disto, cómpre ter en conta que as obras acaban por atraer moitas miradas, un feito que tamén se pode aproveitar para mellorar a imaxe corporativa da empresa aplicando os sistemas vexetais verticais nestes lugares, xa que este tipo de sistemas resultan atractivos, e ademais a xente adoita vinculalos a prácticas respectuosas co medio ambiente (aínda que esta vinculación non está necesariamente xustificada).

1.2. OBXECTIVOS E METODOLOXÍA

Neste traballo faremos unha análise dos sistemas vexetais verticais existentes na actualidade; explicaremos as vantaxes que nos reportan as plantas autóctonas respecto ás demais, mostrando algunhas especies en concreto que poden servir como parte destes sistemas; faremos unha breve análise dos elementos auxiliares de obra, orientada a servir como soporte dun sistema vexetal vertical; e posteriormente, tendo en conta o analizado anteriormente, proporemos algún exemplo de sistema vexetal vertical para ser aplicado nos elementos auxiliares de obra utilizando plantas autóctonas.

Este traballo centrarase na análise dos sistemas vexetais verticais. Nesta análise, logo da súa evolución ao longo do tempo, centrarémonos nas supostas

vantaxes que nos reportan, co fin de ver en que medida estas achegas son reais ou son froito da publicidade. Veremos tamén os seus principais inconvenientes. Posteriormente, clasificaremos os distintos tipos de sistemas vexetais verticais existentes en función do medio de cultivo das plantas (explicando o porqué da elección deste criterio, e definindo claramente os distintos tipos) e analizaremos un exemplo en concreto de cada tipo (agás nos sistemas tradicionais, xa que debido á súa simpleza, non o consideramos necesario), co fin de que sirva de axuda para comprender o funcionamento deste tipo de sistemas, así como para mostrar as posibles diferenzas con exemplos doutros tipos. Finalmente, mostraremos as conclusións deste apartado.

1.3. OUTRAS CONSIDERACIÓNS

Todas as imaxes, ilustracións, esquemas e táboas foron obtidas das fontes indicadas en cada caso (podendo ter as adaptacións mínimas que se consideraron oportunas), agás as que non indiquen fonte ningunha, que serían de elaboración propia.

Para as cuestións de tipo lingüístico empregamos recursos de tipo xeral e recursos terminolóxicos. No primeiro caso, as principais fontes consultadas foron o *Dicionario da Real Academia Galega* (RAG, 2012), a última versión das *Normas ortográficas e morfolóxicas do idioma galego* (ILG / RAG, 2005) e outros recursos coma os *Criterios para o uso da lingua*, obra publicada polo Servizo de Normalización Lingüística da Universidade da Coruña (Sanmartín Rei, 2012). Canto aos recursos terminolóxicos, a nosa principal fonte foi o *bUSCatermos* (SNL da USC, 2012), un buscador multilingüe que nos permite facer buscas en diferentes recursos terminolóxicos (coma, por exemplo, o *Dicionario visual da construción* (González Rodríguez, 2004)) das distintas áreas de coñecemento, o que permitiu resolver a maioría das dúbidas con respecto ao vocabulario técnico. De xeito complementario empregamos tamén os *Recursos Integrados da Lingua Galega (RILG)* (SLI / ILG, 2015), un conxunto de recursos (dicionarios, bancos de datos terminolóxicos, corpus paralelos etc.) que tamén foron de grande axuda para resolvermos dúbidas xerais e terminolóxicas.

2. SISTEMAS VEXETAIS VERTICAIS

2.1. INTRODUCCIÓN

Os *sistemas vexetais verticais* comprenden un conxunto de sistemas construtivos caracterizados pola utilización da vexetación en paramentos verticais. Estes sistemas atópanse en auge na actualidade, o que fai que proliferen novos tipos e denominacións, que se van sumando ás xa existentes (fachadas vexetais, fachadas verdes, muros verdes, muros vivos, muros vexetais, xardíns verticais, biomuros, pel verde, parede de cultivo...).

Nacen co fin de integrar a vexetación no medio urbano e incrementar as superficies verdes, aproveitando para este fin as numerosas superficies verticais dispoñibles ante a sobredemandada superficie horizontal.

Neste traballo consideraremos como sistemas vexetais verticais todos aqueles sistemas construtivos deseñados para albergar vexetais vivos, e nos que esa vexetación se distribúa sobre un plano vertical ou próximo á vertical.

Estes sistemas constan principalmente de tres elementos: os propios **vexetais** (xa que sen eles serían simplemente sistemas ~~vexetais~~ verticais), un elemento vertical que sirva de soporte (nos sistemas tradicionais é o propio paramento) ou que sen ser vertical permita unha **distribución vertical** da vexetación (sen a presenza deste elemento, só estaríamos fronte a un sistema vexetal ~~vertical~~), e o **medio de cultivo** (xunto con outros elementos que presupomos imprescindibles para que os vexetais poidan vivir, como osíxeno e suficiente luz).

A maiores destes elementos, este tipo de sistemas poden ter substrato, sistemas de rega, sistemas de fertirrigación (os que achegan auga e nutrientes), sistemas de drenaxe, sistemas de aproveitamento de augas grises, diferentes tipos de soporte, elementos que axuden ao seu mantemento, elementos que melloren certas propiedades dos cerramentos, e en xeral calquera outro elemento que se lles poida engadir.

2.2. PERCORRIDO HISTÓRICO

2.2.1. A VEXETACIÓN NA ARQUITECTURA

No período neolítico, moitas das edificacións funerarias adoitaban taparse con terra e vexetación, o que podería considerarse un dos primeiros usos da vexetación na arquitectura. Un exemplo deste tipo que hoxe se conserva en bo estado é a tumba de *Newgrange*, considerada o xacemento máis importante de Irlanda, construído entre o 3300 e o 2900 a.C., e que consiste nun montículo de pedra tallada por onde discorre un corredor de 18 metros que leva a unha cámara funeraria. A cuberta mantívose case intacta durante máis de 5000 anos (Varios autores, 2015)



Imaxe 1: Xacemento de Newgrange, en Irlanda (fonte: Newgrange)

Canto á vexetación en vivendas, Persia e Exipto son dos primeiros lugares dos que existe documentación. Nestes lugares era habitual dispor de xardíns con estanques nos fogares, onde se plantaban vexetais con funcións ornamentais.

Un dos exemplos de uso da vexetación na arquitectura máis referenciado atopámolo nos xardíns colgantes de Babilonia. Estudos recentes (Dalley, 2013) sitúan estes xardíns na antiga cidade de Nínive (próxima a actual Mosul, en Iraq), construída arredor do ano 700 a.C., onde as árbores e as plantas foron plantados en terrazas artificiais soportadas por columnatas nunha disposición semellante á dun anfiteatro. A vexetación regábase mediante canalizacións

desde un lago próximo, e elevábase ata as terrazas mediante un trebello similar a un parafuso de Arquímedes.

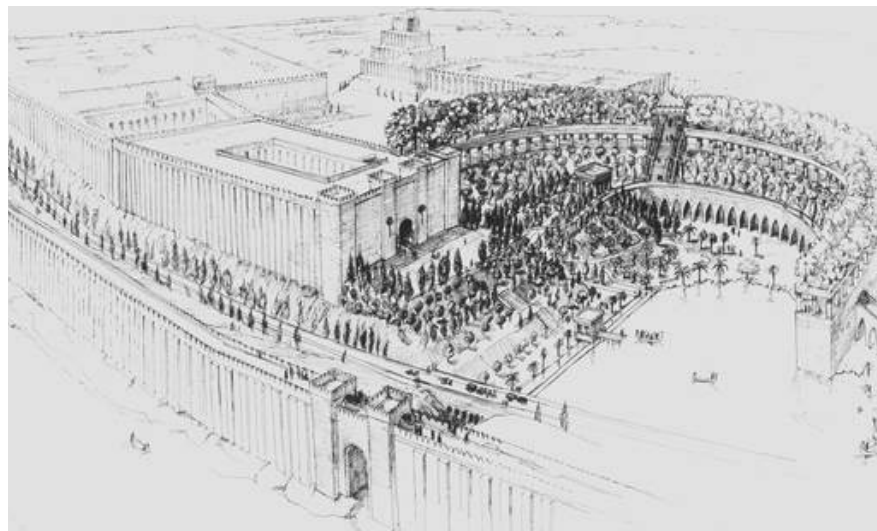


Ilustración 1: Reconstrución dos xardíns de Babilonia, debuxada por Terry Ball
(fonte: Dalley, 2013)

A práctica de construír xardíns en Oriente Medio acabaría por se estender a outras culturas posteriores, como Grecia ou Roma. O xardín dividido en compartimentos cuadrangulares e provisto de canais e estanques, poboado por unha variada vexetación arbórea e arbustiva, descríbese en diversos escritos, tanto gregos como romanos (De Insausti Machinandiarena & Vigil de Insausti, 2012). Exemplos de usos da vexetación na arquitectura son os de certas vilas romanas como a Vila Adriana ou a Vila Laurentina, onde os xardíns colgantes estaban estritamente vinculados ás partes edificadas. Tamén se propiciaba o crecemento vertical da vexetación, aproveitando a capacidade de desenvolvemento vertical de certas especies e incorporando elementos de apoio coma as pérgolas (Olivieri, 2013).

Cabe destacar o uso da vexetación como cerramento, característico da arquitectura vernácula de países con climas fríos do norte de Europa a partir do século IX. Referímonos ás casas de turba, casas cubertas con este material orgánico, tanto nas paredes como na cuberta, soportado por estruturas de madeira, onde se plantaba herba. Estas tipoloxía de cerramento tiña unhas boas prestacións térmicas, que protexían aos seus habitantes do frío (National Museum of Iceland, 2011).



Imaxe 2: Casa feita con turba. Obsérvase a distribución en espiga dos bloques de turba, que eran secados previamente (fonte: Clydevk, 2012-2015)

2.2.2. ORIXES DOS SISTEMAS VEXETAIS VERTICAIS

Como acabamos de ver, a vexetación en paramentos verticais orixínase ao aproveitar a capacidade de medrar sobre estes paramentos de certas especies de plantas, como o son as gabeadoras. Isto ben pode ocorrer sen intervención humana, o que fai que non sexa doado precisar as súas orixes. Os sistemas vexetais verticais como tales, é dicir, nos que exista intencionalidade de que a vexetación medre en vertical, considéranse que naceron no imperio Romano. As plantas gabeadoras tiveron un protagonismo notable nesta época, pois utilizábanse para tapizar muros e pérgolas, e dispúñanse de forma colgante a modo de grilandas, mesmo se chegaban a utilizar cordas para guiar o seu desenvolvemento. Para este fin utilizábanse plantas como hedras ou vides (Munguía & Ripa, 2009).

Mais os sistemas vexetais verticais actuais, non só limitados ao uso de plantas gabeadoras, experimentaron un gran auxe a partir do desenvolvemento dos chamados xardíns verticais do botánico francés Patrick Blanc, que en 1986 rematou a súa primeira obra na *Cité des Sciences et de l'industrie de la Villette* en París. Este botánico está considerado o pai dos xardíns verticais actuais (ver máis detalles deste sistema no exemplo do apartado sobre hidroponía, o [2.4.2.2.1](#)). O tipo de sistema utilizado era hidropónico con láminas de feltro, onde introducía gran variedade de plantas, froito dos seus estudos previos

sobre o comportamento da flora tropical.



Imaxe 3: Xardín vertical da Cité des Sciences et de l'industrie de la Villette, o que supuxo un punto de inflexión no desenvolvemento dos sistemas vexetais verticais (fonte : Blanc, -a)

Actualmente, existen gran cantidade de tipos e denominacións no mercado, tanto para interiores como exteriores.

2.3. VANTAXES E INCONVENIENTES

2.3.1. VANTAXES

2.3.1.1. MELLORA DO ILLAMENTO TÉRMICO

2.3.1.1.1. Introducción

O illamento térmico consiste en reducir a transferencia de calor dunha superficie ou volume desde ou cara ao ambiente mediante o uso de materiais de baixa condutividade térmica (Santiago Netto).

Todos os materiais opoñen certa resistencia ao paso da calor a través deles, mais para illar termicamente escóllense os materiais que ofrecen maior resistencia ao paso da calor (menor condutividade térmica), tendo en conta, iso si, o seu custo. Isto faise co fin de minimizar os fluxos de calor entre os espazos que deben de manter uns certos valores de temperatura e a súa contorna. Depende da condutividade térmica dos materiais e do seu espesor. A condutividade térmica dun elemento expresa a cantidade de calor que pasa, por unidade de tempo, a través dunha unidade de superficie dese elemento (tendo de espesor unha unidade, extensión ilimitada e caras planas e paralelas), cando se establece unha diferenza de temperatura dunha unidade entre as súas caras. Exprésase no sistema internacional como W/m/K.

2.3.1.1.2. Efectos adversos

Os efectos adversos aos que nos referiremos neste apartado son os que se poden dar nos espazos que non están illados termicamente. Isto refírese á perda de enerxía calorífica en tempo frío, e a ganancia de enerxía calorífica en tempo cálido. Isto pode supor aumentos de consumos de enerxía en sistemas de refrixeración e calefacción.

2.3.1.1.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

Os beneficios atribuíbles neste senso aos sistemas vexetais verticais poden darse ben polo illamento térmico **debido ao soporte, substrato ou a calquera outro material integrante do sistema**, ou ben **debido á**

existencia da capa de aire retida entre as follas das plantas, e entre estas e os elementos contiguos.

Os sistemas vexetais verticais poden formar parte dun sistema de cerramento de fachada máis complexo, que pode estar provisto de capa de illante térmico, cámara de aire e outros elementos que melloren o seu comportamento térmico. Como estes elementos poden ir incorporados ou non, e xa que o comportamento térmico dos paramentos sen vexetais é un tema sobradamente estudado, neste apartado centrarémonos nas características distintivas dos sistemas vexetais verticais respecto ás solucións de cerramento habituais e a súa achega respecto ao illamento térmico dos paramentos.

Estas características distintivas son a presenza dun medio do que as plantas se alimentan (xeralmente substrato, aínda que non sempre, xa que os sistemas hidropónicos como veremos carecen del), e de vexetais.

- Respecto ao **illamento térmico debido ao soporte, ao substrato ou a calquera outro material integrante do sistema**, os elementos **característicos dos sistemas vexetais verticais** son a presenza de substrato, aínda que no caso de sistemas hidropónicos o substrato non existe, senón que existen outro tipo de elementos, caracterizados por ter grandes niveis de humidade (ver apartado [2.4.2.2.1](#)).

Respecto aos sistemas con substrato, hai que ter en conta que a condutividade térmica da terra vexetal é de aproximadamente 0,52 W/m/K (CTE Web, 2007), mais este valor pode variar moito ao ser usada como substrato, pois depende moito do grao de humidade, e do grao de compactación, porosidade... Así mesmo, como xa veremos no apartado de tipoloxía (o [2.4](#)), os substratos usados en sistemas vexetais verticais poden conter unha gran variedade de elementos para lle achegaren certas características, como por exemplo o uso de arxila expandida para alixeirar o sistema e mellorar as capacidades de retención de auga. Por tanto, en función do grao de humidade, compactación, presenza de elementos alixeirantes etc., os valores de condutividade térmica poden variar notablemente. Para nos facermos unha idea da magnitude destas variacións hai que ter en conta que (xunto coa condutividade do

substrato a base de terra vexetal de 0,52 W/m/K que acabamos de ver), a terra mollada ten unha condutividade térmica de 2,1 W/m/K (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998), a auga de 0,58 W/m/K (Santiago Netto), a terra compactada sobre 1,1 W/m/K, e algúns elementos alixeirantes, como a arxila expandida ou pedra pómez, teñen 0,148-0,095 W/m/K e 0,12 W/m/K respectivamente (CTE Web, 2007).

Canto aos sistemas sen substrato, os elementos que conteñen as plantas si adoitan ter menores condutividades térmicas, como por exemplo as láminas de feltro (0,05 W/m/K (CTE Web, 2007)) ou elementos que permitan a distribución da auga por capilaridade, como escumas plásticas e lá de rocha (0,04-0,031 W/m/K (CTE Web, 2007)). Mais como o seu uso en sistemas hidropónicos consiste en reter a auga para lle poder chegar os nutrientes ás plantas, están permanentemente enchoupados, polo que as súas condutividades térmicas non teñen nada que ver con estes valores, e están moito máis próximas aos valores de condutividade térmica da auga (0,58 W/m/K (Santiago Netto)).

Igualmente, hai que ter en conta a continuidade destes elementos. No apartado de tipoloxía de sistemas vexetais verticais (o 2.4), veremos que non todos os sistemas vexetais verticais teñen unha continuidade do substrato, xa que nos sistemas de distribución horizontal o substrato caracterízase por esa falta de continuidade. Só algúns tipos de sistema con substrato en distribución vertical teñen esa continuidade. Canto aos sistemas hidropónicos (sen substrato), tamén existe esta falta de continuidade (ou non) segundo o tipo. Os de tipo lineal adoitan a ser moi descontínuos, mentres que os superficiais si se caracterizan por cubriren a superficie do paramento cos elementos portadores da solución nutritiva.

Por tanto, tendo en conta a non boa resistencia térmica destes elementos, comparados cos elementos habituais usados para este fin (as resistencias térmicas do poliestireno expandido, da lá mineral ou da espuma de poliuretano son aproximadamente de 0,046-0,029 W/m/K, 0,05-0,031 W/m/K e 0,035-0,028 W/m/K, respectivamente (CTE Web,

2007)), xunto coa ausencia de continuidade de gran parte destes elementos, podemos chegar á conclusión de que o illamento térmico debido ao soporte, ao substrato ou a calquera outro material integrante característico dos sistemas vexetais verticais non é moi relevante. Se ben detrás dos elementos continuos pode quedar unha capa de aire que si poida ter certa importancia respecto ao illamento térmico, non a temos en conta debido a que manter unha cámara de aire dese tipo non é algo característico deste tipo de sistemas, xa que se pode acadar de igual ou mellor forma e de xeito máis económico coa maioría de solucións de cerramentos existentes, sen recorrer aos sistemas vexetais verticais.

- Respecto ao **illamento térmico debido** ao outro elemento característico dos sistemas vexetais verticais, que son **os propios vexetais**.

A vexetación en si mesma non supón ningunha vantaxe apreciable para o comportamento térmico dun edificio (de Garrido, 2011), mais certos estudos realizados sobre este comportamento das envolventes vexetais (tanto fachadas como cubertas) nomean a capacidade dos sistemas vexetais (tanto verticais como horizontais) de manteren unha capa de aire en repouso que lle proporcionan una certa capacidade de illar termicamente, como por exemplo en cubertas (Jim & He, 2011) e en fachadas (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998). Incluso se chegaron a medir as velocidades do vento próximas e entre a follaxe de varios tipos de sistemas vexetais verticais, para probar así a existencia desta capa de aire, e observouse que entre a follaxe si se aminora moito a súa velocidade (Perini, Ottelé, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011) (ver gráficos 1, 2 e 3). Mais logo, na totalidade dos estudos consultados, non se teñen en conta as supostas vantaxes desa capa    hora de facer os c  culos.

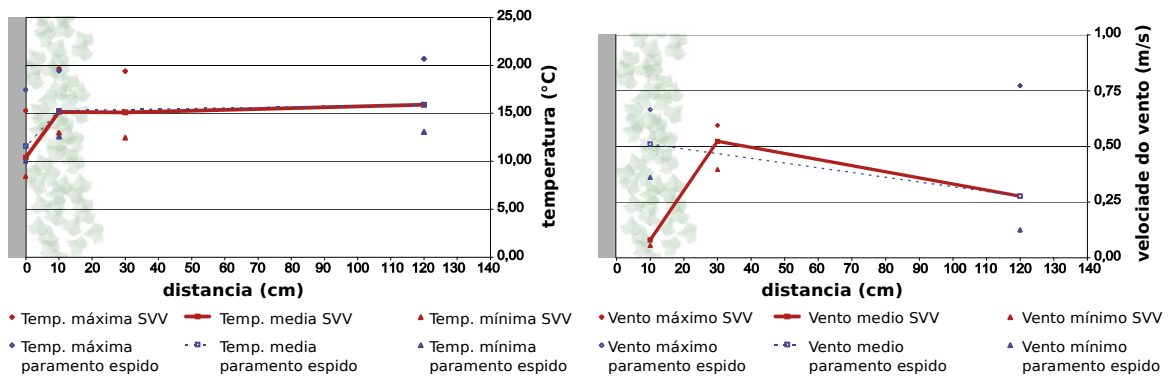


Gráfico 1: Medición de temperatura (esquerda) e velocidades do vento (dereita) nos distintos sensores dispostos ás distancias indicadas, nun sistema vexetal vertical tradicional en comparación cun paramento de control sen vexetais (fonte: Perini et al., 2011)

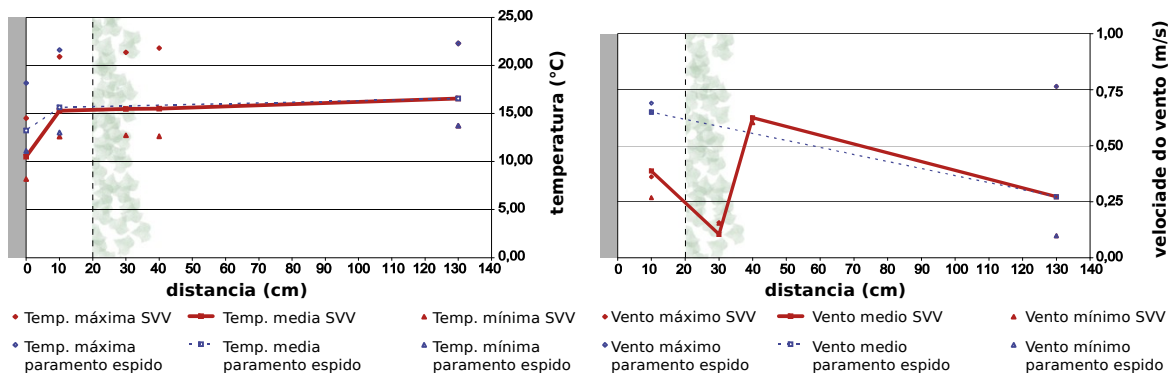


Gráfico 2: Medición de temperatura (esquerda) e velocidades do vento (dereita) nos distintos sensores dispostos ás distancias indicadas, nun sistema vexetal vertical de dobre pel en comparación cun paramento de control sen vexetais (fonte: Perini et al., 2011)

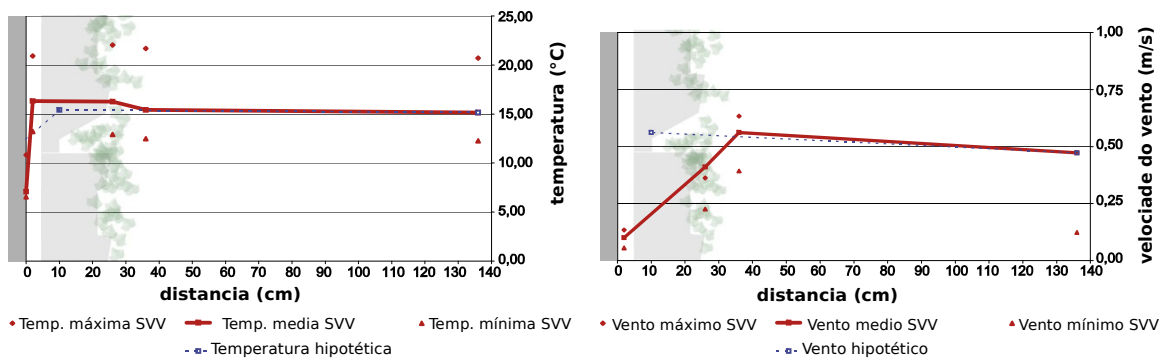


Gráfico 3: Medición de temperatura (esquerda) e velocidades do vento (dereita) nos distintos sensores dispostos ás distancias indicadas, nun sistema vexetal vertical de dobre pel en comparación cun paramento de control sen vexetais (fonte: Perini et al., 2011)

Se ben en cubertas axardinadas si se aprecian melloras respecto ao illamento térmico (principalmente debido aos maiores espesores do substrato, e a outros elementos non específicos deste tipo de sistemas, como láminas de illantes térmicos, cámaras de aire...) (Eumorfopoulou & Aravantinos, 1998; Kotsiris, Androutsopoulos, Polychroni, & Nektarios,

2012), non ocorre así nos estudos experimentais realizados sobre este comportamento térmico dos sistemas vexetais verticais (que se basean en comparar temperaturas superficiais e os fluxos de calor que atravesan paramentos con e sen acabado vexetal). Xeralmente analízase o sistema en conxunto, calculado a resistencia térmica do paramento ao paso de calor cara ao interior, e obtéñense valores tales como que unha capa vexetal engadida ao paramento proporciona unha mellor resistencia térmica, aínda que varía en función da radiación solar (directamente proporcional), velocidade do vento (inversamente proporcional), grao de humidade (directamente proporcional), temperatura ambiente (inversamente proporcional) e índice de área foliar (directamente proporcional) (Susorova, Angulo, Bahrami, & Brent Stephens, 2013). Estes incrementos de resistencia térmica estímense en diversos estudos en $0,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ como máximo en fachadas cubertas por gabeadoras (Susorova et al., 2013), $0,34 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ nunha capa de 16 cm de hedra (Minke & Witter, 1985), ou $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ nunha capa tamén de hedra de 25 cm (Kontoleon & Eumorfopoulou, 2010). Mais estes valores de resistencia térmica dos sistemas vexetais verticais sempre se obteñen como resistencia térmica ante o fluxo de calor do exterior cara ao interior, analizando as diferentes temperaturas entre exterior e interior, e tendo en conta dentro do concepto resistencia térmica outros factores que só son positivos cando o fluxo de calor vai nesa dirección, como son a absorción da enerxía por evapotranspiración (ver apartado [2.3.1.3](#)) ou a reflexión e a absorción dos raios do Sol pola mesma planta (ver apartado [2.3.1.4](#)). De feito, en ocasións, chégase a asumir que os valores de resistencia térmica obtidos nos experimentos só son válidos cando o fluxo de calor vai do exterior ao interior, en caso contrario, asúmese que a resistencia térmica do sistema é nula (Susorova et al., 2013).

Todas estas virtudes canto ao illamento térmico non son tal, xa que consideramos o illamento térmico coma unha propiedade que ten que ser igual independentemente da dirección do fluxo da enerxía calorífica. E de non ser así, é que os resultados están influenciados por outras propiedades que se

explicarán posteriormente, pero que non son o illamento térmico tal e como o entendemos.

Como vimos anteriormente, os sistemas vexetais verticais si poden baixar as velocidades do aire nos espazos situados entre as follas, o que implica que haberá menos volume de masas de aire en contacto cos paramentos. E de estar ese aire a distinta temperatura que o paramento, haberá menores fluxos de calor, o que implica que os sistemas vexetais verticais si teñen certas propiedades como illantes térmicos. Mais esas propiedades non están cuantificadas, e dependen moito da área foliar das especies vexetais, así como da velocidade do vento.

Por tanto, a capacidade de illamento térmico dos sistemas vexetais comparada con sistemas de illamento convencionais non é moi relevante (ou ben non está o suficientemente cuantificada). Como os sistemas vexetais verticais poden combinarse con solucións tradicionais que melloren as súas propiedades térmicas (neste caso o seu illamento térmico), certos sistemas vexetais verticais si que poden presentar grandes prestacións neste senso, mais hai que ser conscientes de que as singularidades dos sistemas vexetais verticais non son as que achegan os maiores beneficios.

2.3.1.2. MELLORA DA INERCIA TÉRMICA

2.3.1.2.1. Introducción

É a capacidade que ten un material de acumular e almacenar enerxía calorífica para ser logo liberada durante un período de tempo (Lafarge, 2013).

O ciclo de carga e descarga de enerxía debido á inercia térmica dos materiais, utilizado de maneira eficiente, pode mellorar o confort térmico reducindo as diferenzas de temperatura que se dan nos ciclos día-noite.

O frescor que se pode notar ao entrar nunha casa de pedra nun día caloroso é debido a este efecto, xa que a gran masa dos muros de pedra absorbe e acumula a radiación solar, para liberala máis tarde, cando as temperaturas ambiente xa son menores. Depende do espesor, calor específico e densidade dos materiais (Domínguez & Santamaría).

Ademais de reducir as temperaturas máximas no día e aumentar as mínimas

na noite, este efecto tamén se caracteriza por retardar no tempo os picos (tanto máximo como mínimo) de temperatura, como se mostra no seguinte gráfico (gráfico 4).

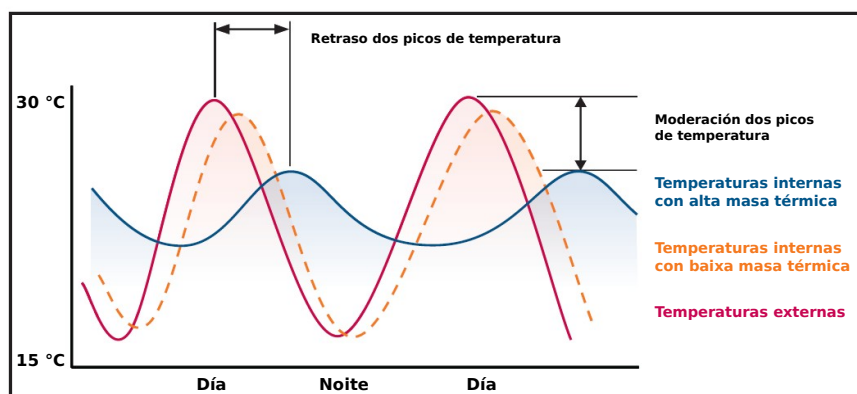


Gráfico 4: Efecto dos elementos que proporcionan gran inercia térmica sobre as temperaturas dos espazos interiores (adaptación de Lafarge, 2013)

2.3.1.2.2. Efectos adversos

Os efectos adversos aos que nos referiremos neste apartado son as fluctuacións de temperaturas que se dan nos ciclos día-noite, é dicir, ao exceso de calor que se pode dar durante os momentos calorosos do día, así como ao frío nos momentos menos cálidos na noite. Isto pode supor aumentos de consumos de enerxía en sistemas de refrixeración e calefacción en climas nos que estas fluctuacións sexan altas.

2.3.1.2.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

Igual que no apartado sobre o illamento térmico, os sistemas vexetais verticais poden estar integrados nun sistema provisto de elementos que melloren a súa inercia térmica, mais neste apartado centraremos nas características distintivas dos sistemas vexetais verticais respecto ás solucións de cerramento habituais, e a súa achega respecto á inercia térmica dos paramentos.

Estas características distintivas son a presenza dun medio do que as plantas se alimentan (xeralmente substrato, aínda que non sempre, xa que os sistemas hidropónicos como veremos carecen del), e de vexetais.

- Se ben, como vimos no apartado anterior (o [2.3.1.1.3](#)), o **substrato** non supón un gran illamento térmico, en canto á inercia térmica si pode

supor unha mellora (de Garrido, 2011). Mais existen factores que fan que o substrato, que é o elemento específico dos sistemas vexetais verticais que pode achegar melloras significativas respecto á inercia térmica, non teña un papel relevante na mellora destas propiedades. Estes factores son a tendencia a ser minimizado nos sistemas vexetais verticais, ata o punto de prescindir totalmente del no caso dos sistemas hidropónicos, e a súa discontinuidade nalgúns tipos de sistema. Por tanto, estas melloras que si son apreciables en cubertas vexetais (que teñen xeralmente capas continuas de substrato e de espesores de 30-50 cm aproximadamente (de Garrido, 2011)), non o son tanto en sistemas vexetais verticais.

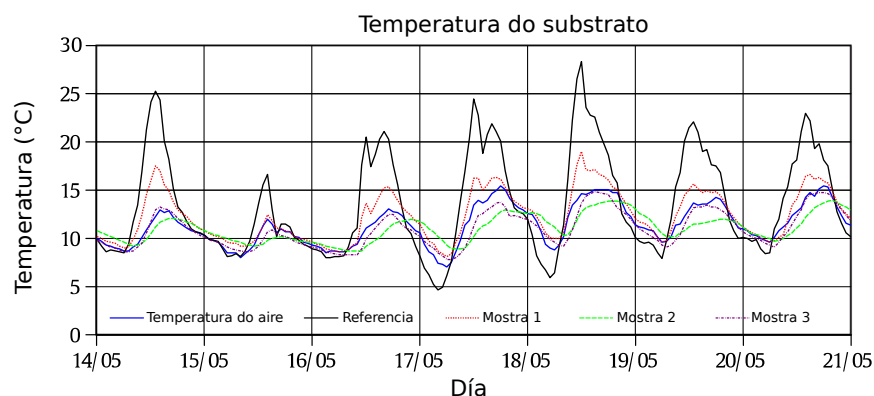


Gráfico 5: Evolución ao longo de varios días das temperaturas medidas no substrato, de tres exemplos de módulos distintos de sistemas vexetais verticais con substrato e un módulo espido, así como a temperatura do aire. Orientados ao sur en Suíza (fonte: (Malys, Musy, & Inard, 2014))

- O outro elemento específico dos sistemas vexetais verticais é **a propia vexetación**. As propiedades térmicas da vexetación son bastante complexas. Como xa veremos no apartado de protección fonte á radiación solar (2.3.1.4), as plantas absorben unha gran cantidade da enerxía solar que reciben para realizaren a función clorofílica. Mais gran parte desta enerxía desbótase durante a noite, para manter o balance enerxético (Chuvieco Salinero, 2002). Isto pode ser considerado coma unha achega positiva canto á inercia térmica, mais non supón ningunha vantaxe apreciable para o comportamento térmico dun edificio (de Garrido, 2011).

Mais existe un problema canto á disposición dos sistemas vexetais dentro do

conxunto do cerramento vertical co fin de mellorar a inercia térmica, e é que, debido a súa natureza, os sistemas vexetais constitúen a capa exterior do cerramento. Este feito, no caso de existir elementos illantes como capas de illantes térmicos e cámaras de aire (algo habitual, agás nos sistemas tradicionais de gabeadoras sobre os mesmos paramentos), fai que as supostas vantaxes canto á inercia térmica sexan moito menores, xa que ese elemento illante interporíase e minimizaría os fluxos de calor cara o interior.

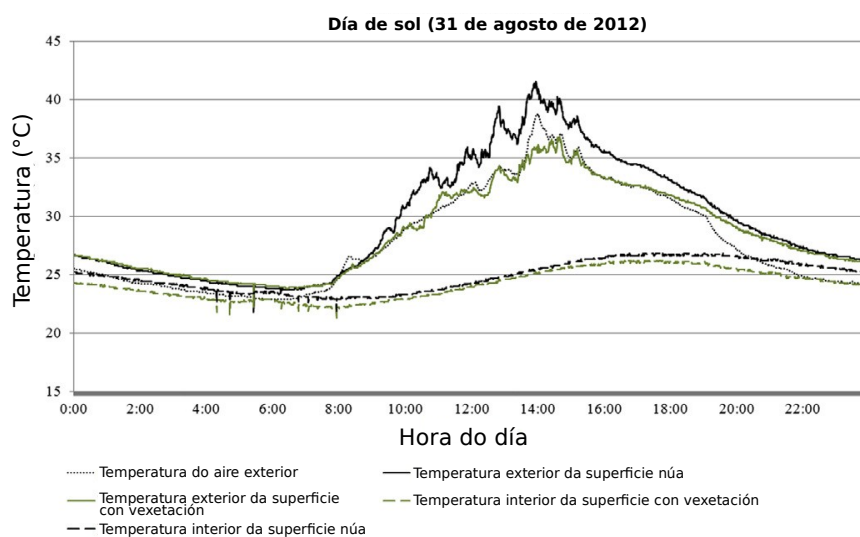


Gráfico 6: Temperaturas medidas nun paramento vexetado e nun paramento sen vexetar nun día soleado. As diferenzas canto á inercia térmica non semellan ser moi relevantes (fonte: Susorova et al., 2013)

2.3.1.3. CAPACIDADE REFRIXERANTE

2.3.1.3.1. Introducción

A refrixeración consiste en aplicar frío artificial a un corpo ou recinto para mantelo a baixa temperatura, para prolongar a súa conservación ou para evitar que se quente en exceso (RAG, 2012).

2.3.1.3.2. Efectos adversos

Os efectos adversos que trataremos neste apartado refírense á ausencia de elementos refrixerantes cando estes son necesarios, é dicir, á necesidade de reducir ou evitar que suba a temperatura en lugares nos que supere os valores de confort térmico.

2.3.1.3.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

As follas expostas ao Sol acumulan unha gran cantidade de calor. Unha folla de espesor de 300 μm podería aumentar a súa temperatura ata 100°C por minuto se toda a súa enerxía fose absorbida e non se disipase. As formas de disipar a calor para evitar isto, son por radiación de lonxitude de onda longa, por conduction e convección e por perda de calor latente debido á evaporación de auga (Taiz & Zeiger, 2006). A capacidade dos sistemas vexetais verticais para reduciren a temperatura dos espazos onde se atopan fundaméntase no proceso de **evapotranspiración**. A evapotranspiración consiste en dous conceptos distintos, a evaporación e a transpiración (vexetal neste caso), que se dan de forma conxunta.

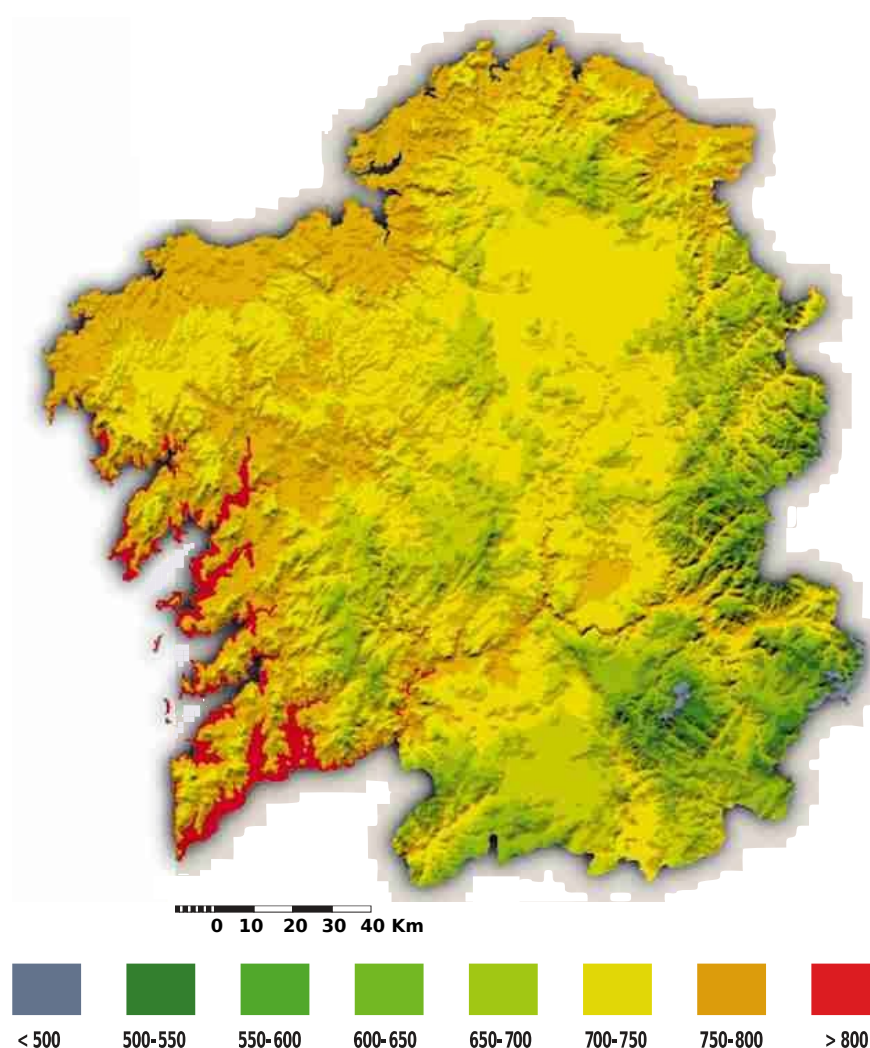


Ilustración 2: Mapa de evapotranspiración potencial anual de Galicia. Expresado en mm de auga, equivalente a litros por m^2 (fonte: Martínez Cortizas, Castillo Rodríguez, Pérez Alberti, Valcárcel Díaz, & Blanco Chao, 1999)

- A **evaporación** é o proceso polo cal a auga líquida cambia de estado para se converter en vapor de auga (vaporización), retirándose da superficie evaporante. A auga evapórase de multitude de superficies, como lagos, ríos, solo... (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). No caso dos sistemas vexetais, as superficies de onde se evapora a auga son a propia vexetación mollada, o solo ou substrato (en sistemas nos que existan estes elementos), e as superficies dos materiais capilares mollados ou da propia superficie das masas de auga (en sistemas hidropónicos).
- A **transpiración** é a vaporización da auga líquida contida nos tecidos da planta, coa súa posterior retirada cara a atmosfera, maiormente a través dos estomas. Este tipo de vaporización ocorre dentro da folla, nos espazos intercelulares, e o intercambio de vapor coa atmosfera é controlado mediante a apertura dos estomas. As taxas de transpiración das plantas dependen do seu tipo e do seu estado (Allen et al., 2006). Case toda a auga absorbida polas plantas ao longo da súa vida é desbotada deste xeito (95%), e moi pouca é usada no seu metabolismo ou crecemento (5%) (Kramer, 1983).

A maior parte da auga que perde unha planta evapórase desde as follas ao mesmo tempo que se absorbe o dióxido de carbono. Nun día caloroso, soleado e seco, unha folla pode intercambiar o 100% da súa auga en 1 h. Durante a súa vida, unha planta pode perder o equivalente a 100 veces o seu peso fresco en auga a través da superficie das súas follas, é dicir, por transpiración (Taiz & Zeiger, 2006).

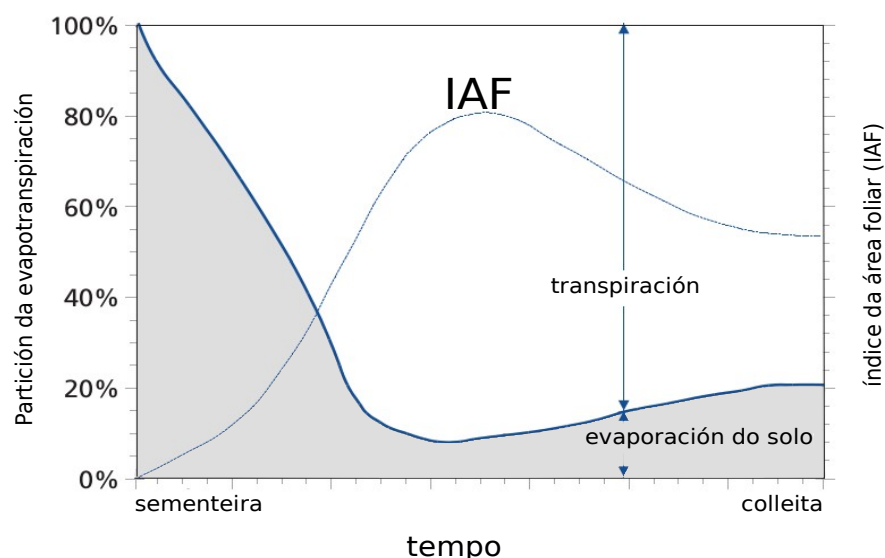


Gráfico 7: Relación entre a transpiración e a evaporación durante o período de crecemento dun cultivo anual. Móstrase tamén o índice de área foliar, que é a relación entre a superficie das follas e a superficie (neste caso o terreo horizontal) onde o cultivo se desenvolve (fonte: Allen et al., 2006)

A evaporación e a transpiración ocorren simultaneamente e non hai unha forma sinxela de distinguir unha da outra, de aí que se use o termo conxunto evapotranspiración. Como vimos, baséanse na vaporización de auga, e para que as moléculas de auga líquida pasen a estado vapor, requírese enerxía. Esta enerxía requirida por unha substancia para poder cambiar de estado é o que se denomina calor latente, e a utilización desta enerxía nos procesos de evapotranspiración dos sistemas vexetais verticais é o que fai que teñan un efecto refrixerante.

Mentres exista suficiente cantidade de humidade dispoñible, a evapotranspiración é proporcional ao estrés térmico, o que significa que a capacidade da vexetación de arrefriar por evapotranspiración aumenta cando máis calor hai (Olivieri, 2013). Durante a noite, a capacidade das plantas para reduciren as temperaturas débese só á evapotranspiración (Hoelscher, Nehls, Jänicke, & Wessolek, 2015), xa que non hai sombreamento (ver gráfico 9).

Os factores que inflúen nos procesos de evapotranspiración son: os elementos que proporcionen enerxía (neste caso, a enerxía obtense a partir da **radiación solar** e mais da **temperatura** ambiente); a diferenza de presión entre a presión do vapor de auga na superficie e a presión vapor da auga na atmosfera (na que inflúen a temperatura e a **humidade do aire**, así como a **velocidade do aire** para que retire as masas de aire máis húmidas presentes

nas proximidade das superficies evaporantes); e a **dispoñibilidade da auga**, tanto das plantas como dos demais elementos, xa que sen auga non hai evapotranspiración. Neste senso, tamén hai que ter en conta a disposición desa auga a ser evaporada, na que inflúe a permeabilidade dos elementos que conteñen auga (como, por exemplo, os elementos que conteñen o substrato húmido nos sistemas que dispoñan del, ou os elementos polos que discorra a auga nalgúns sistemas hidropónicos), así como a relación entre a superficie exposta ao aire e o volume total dos elementos con auga. No caso da transpiración, tamén inflúe a resistencia estomática da folla (xa que, por exemplo, con baixas humidades ambientais as plantas reducen o fluxo de vapor de auga a través dos estomas para evitaren secar (Gates, 2003), e a resistencia da capa estacionaria, que é a capa de aire relativamente inmóbil na superficie da folla (que á súa vez está influída polo tamaño e forma da folla, así como pola velocidade do vento) (Taiz & Zeiger, 2006).

A calor latente de vaporización da auga (enerxía necesaria para que as moléculas de auga líquida pasen a vapor) no seu punto de ebulición (a 100°C a 1 atm, xa que depende da presión) é de 2257 kJ/kg, mais a temperaturas menores, a enerxía necesaria para evaporar a auga é maior. A temperaturas ambiente máis habituais como 20°C, necesítanse 2450 kJ/kg de enerxía para vaporizar a auga (Hoelscher et al., 2015), o que serían 0,68 kW·h por cada litro de auga evaporado.

Por tanto, pódese estimar a capacidade de refrixeración por evapotranspiración en función da auga consumida polo sistema, mais hai que ter en conta que, por unha banda, non se sabe con exactitude a cantidade de auga que usa unha planta en concreto na transpiración (como xa vimos, é aproximadamente o 95% (Kramer, 1983)); e, por outra banda, tamén descoñecemos a proporción entre a auga que é transpirada polas plantas e a que evaporada por calquera dos elementos do sistema.

Existen varios estudos que tratan de medir a transpiración da planta. Utilízanse principalmente dous métodos: o primeiro consiste en aplicarllas ás plantas algún tipo de tratamento para inhibir a transpiración da planta, como por exemplo tapando os estomas e a cutícula da plantas, e comparalas co

mesmo tipo de plantas sen estes tratamentos, ou mesmo con especies cos talos cortados (é dicir, coa planta morta); e o segundo consiste en estimar as taxas de transpiración das plantas medindo os seus fluxos de zume. Hai que ter en conta que un litro de zume non é exactamente un litro de auga, mais o zume bruto é auga en case a súa totalidade (99% (Waldbauer, 2009)), mais pode haber variacións en función da especie.

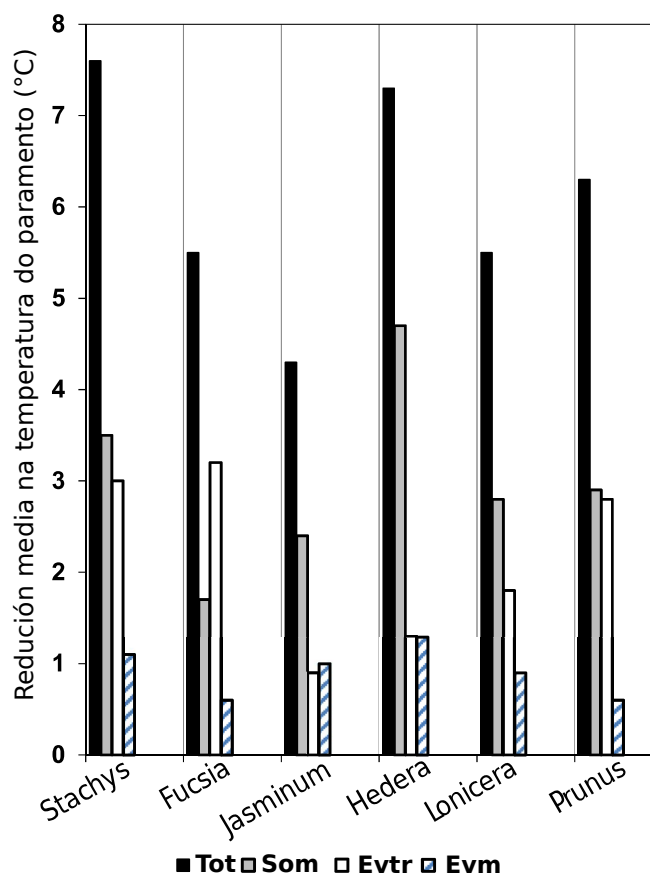


Gráfico 8: Redución da temperatura do paramento en función da especie. Móstrase a redución total (Tot), así como a redución atribuíble ao sombreamento (Som), evapotranspiración das plantas (Evtr) e evaporación do medio (Evm). (fonte: Cameron et al., 2014)

Por exemplo, no gráfico 8 móstrase a capacidade de arrefriar un paramento de certas especies gabeadoras, e estímase importancia da evapotranspiración no proceso. Estas relacións acádanse ao comparar plantas cos estomas selados con acetato de polivinilo (sen transpiración), plantas ás que lles cortaron os talos (só sombreamento), plantas sen ningún tratamento e macetas con substrato sen planta. Nas especies *Fuchsia*, *Jasminum* e *Lonicera* ese índice de área foliar (é dicir, a superficie das follas en proxección respecto á superficie do paramento) era menor que 1, o que implica que non cubrían

completamente o paramento, mentres que nas especies *Stachys* e *Prunus* ése índice estaba comprendido entre 2 e 3, e é a *Hedera* a de maior índice, xa que superaba o 5 (Cameron, Taylor, & Emmett, 2014).

Noutro estudo recente calculouse a capacidade de arrefriamento por transpiración en función dos consumos de zume (que aumentan nos días calorosos) de certas plantas gabeadoras, en certos días e orientadas de distinta maneira (Hoelscher et al., 2015).

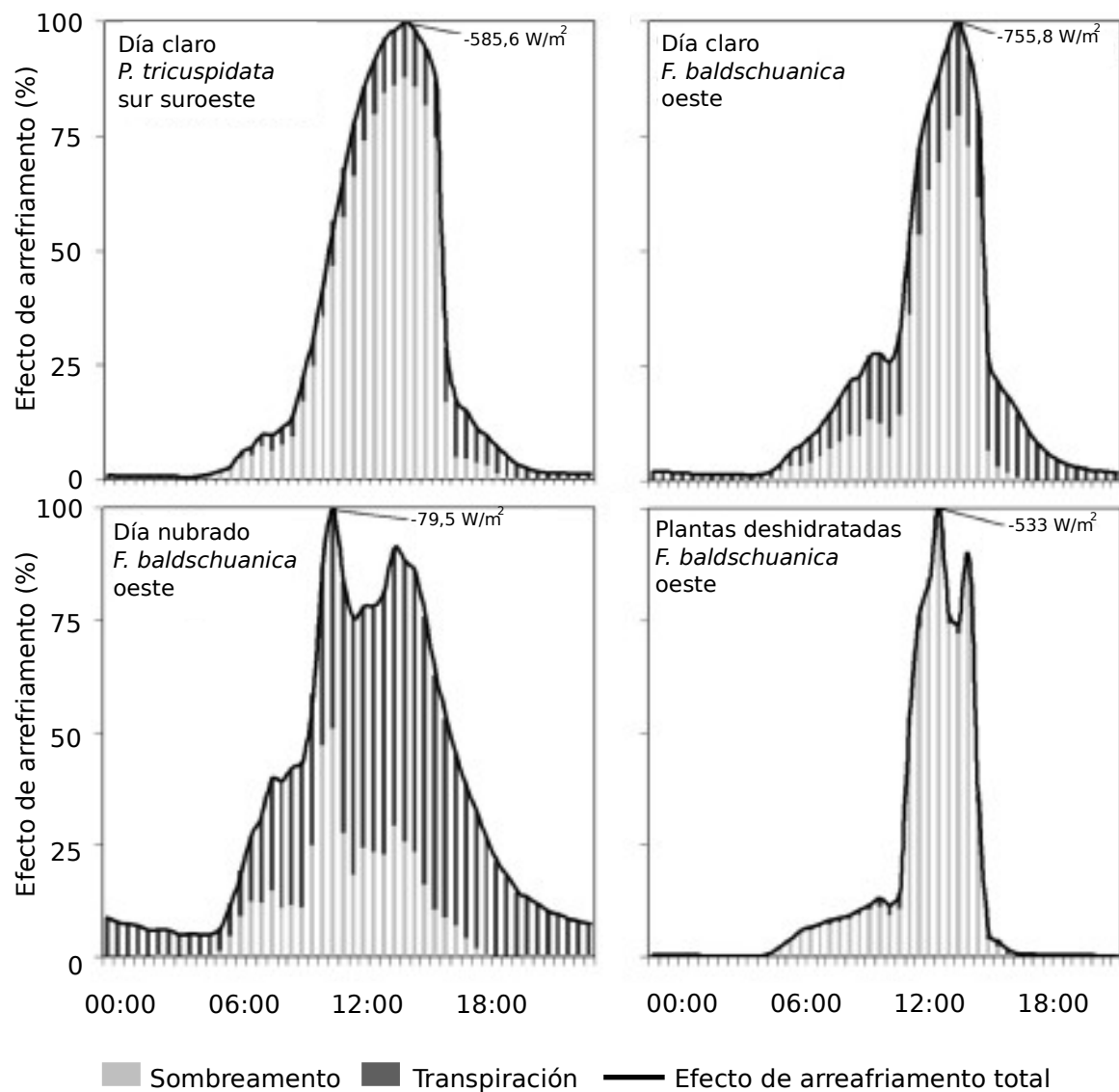


Gráfico 9: Relación entre o arrefriamento debido ao sombreado e o debido á transpiración, estimada en función dos fluxos de zume, de dúas das tres plantas testadas. (fonte: Hoelscher et al., 2015)

Por exemplo, observouse que para a planta *P. Tricuspidata*, situada nun paramento orientado ao sur-suroeste, o maior período de arrefriamento foi

entre as 12:00 e as 16:00, cun pico de $-585,6 \text{ W/m}^2$ nun día caloroso de verán. Nese período, o arrefriamento debido á transpiración da planta estimouse no 13% respecto ao sombreamento, fronte ao 18,5% de media durante todo o día. Amosáronse semellantes proporcións nun día de verán pouco caloroso.

Coa planta *F. Baldschuanica* o pico de arrefriamento ($-755,8 \text{ W/m}^2$) deuse ás 15:30, mais nunha exposición ao oeste dun día claro a finais do verán. O arrefriamento por transpiración nese momento foi do 21,6%, mentres que a media en todo o día foi de 39,9%. Mais nunha medición de 13 días de setembro (menos calorosos), a porcentaxe media de enerxía absorbida pola transpiración da planta foi do 47,5%, e mesmo chegou a ser o 73% nun día nubrado, cun pico de absorción do $-79,5/\text{m}^2$ entre a evapotranspiración e o sombreamento. Obsérvase tamén que nesa mesma planta, en condicións de estrés hídrico, a porcentaxe da transpiración reduciuse ao mínimo (6,1%).

A porcentaxe debida á transpiración da *F.baldschuanica* aumenta en días nubrados (73% fronte ao 39,9%), mais non porque o seu valor de absorción aumente, senón debido a que a absorción por sombreamento é moito menor.

Durante a noite, o arrefriamento é debido só á evapotranspiración (Hoelscher et al., 2015).

Os datos obtidos de fluxos de zume móstranse na seguinte táboa:

	l/d/m ² de sup. foliar	l/d/m ² de paramento	W/m ² de paramento
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (do 2 a 15 Agosto 2013) (1,9 m ² sup. foliar / m ² paramento)			
media	0,5	0,9	26,6
máximo	0,7	1,3	35,4
mínimo	0,4	0,7	19,9
<i>Hedera helix</i> (do 1 ao 6 agosto 2014) (3 m ² sup.foliar / m ² paramento)			
media	0,5	1,6	45,6
máximo	0,6	1,7	49,5
mínimo	0,4	1,2	32,8
<i>Fallopia baldschuanica</i> (do 2 ao 15 de setembro 2014) (3 m ² sup. foliar / m ² paramento)			
media	0,5	1,4	39,3
máximo	0,8	2,3	65,6
mínimo	0,2	0,7	19,6

Táboa 1: Fluxo de zume diario e enerxía equivalente de arrefriamento por transpiración de tres especies de plantas gabeadoras, medido nos períodos que se sinalan (fonte: Hoelscher et al., 2015)

Este estudo non serve para comparar os fluxos de zume e as capacidades de refrixeración dunhas plantas con outras, xa que, como xa vimos, a evapotranspiración, e por tanto os fluxos de zume, son proporcionais ao estrés térmico, e estes datos (por problemas técnicos dos membros que elaboraron o estudo) foron tomados en distintos períodos (con características distintas como temperatura, grao de humidade...), distintos tipos de sistema construtivo e distintas orientacións. De todas formas, serve para mostrar uns valores aproximados da capacidade das plantas para arrefriaren mediante a súa transpiración. Tamén se pode observar que os consumos medios das tres especies en función da súa área foliar son semellantes.

Por tanto, os sistemas vexetais verticais aumentan a humidade ambiental reducindo a temperatura da contorna, mais en climas húmidos este aumento de humidade pode supor un problema (de Garrido, 2011).

2.3.1.4. PROTECCIÓN FRONTE Á RADIACIÓN SOLAR

2.3.1.4.1. Introducción

A radiación solar é o conxunto de radiacións electromagnéticas froito dos procesos de fusión nuclear que teñen lugar no Sol.

A enerxía solar incidente nunha superficie maniféstase de tres maneiras: de forma directa (a que provén directamente do Sol), difusa (a que vén dispersada pola atmosfera) e reflectida (a procedente da reflexión coa superficie terrestre ou con outra superficie que se poida ter en conta).

A cantidade de enerxía transportada polas ondas electromagnéticas (enerxía radiante) depende da intensidade (que está relacionada co número de fotóns por unidade de tempo) e da lonxitude de onda (as ondas máis curtas transmiten maior cantidade de enerxía).

- **Intensidade**

A intensidade coa que o Sol emite sofre moi poucas variacións o longo do tempo, polo que a cantidade de enerxía recibida na parte externa da atmosfera terrestre nun plano perpendicular aos seus raios pódese considerar constante, e o seu valor medio é de 1367 W/m^2 segundo a

World Radiation Reference Centre. En cambio, a insolación, que é a cantidade de enerxía en forma de radiación solar que chega a un lugar da terra nun momento determinado, é menor. Isto débese a atenuación debida a os distintos procesos que se producen no transcurso da luz solar a través da atmosfera, tales como a absorción e difusión da luz por gases como ozono, vapor de auga ou aerosois (Sancho Ávila et al., 2012). Por tanto, na cantidade de enerxía transmitida a unha superficie de referencia inflúe o estado da atmosfera (cantidade de ozono, meteoroloxía, turbidez...), a lonxitude do traxecto a través da atmosfera que teñen que atravesar os raios (no que inflúe a altitude, latitude e momento do día) así como o ángulo de incidencia sobre esa superficie.

- **Lonxitude de onda**

Canto á lonxitude de onda, a radiación solar abarca un espectro desde o ultravioleta ata o infravermello, pasando pola luz visible. A radiación emitida polo Sol distribúese de forma que o 49,4% pertence ao infravermello (lonxitudes de onda $>0,7\ \mu\text{m}$, ata $1000\ \mu\text{m}$), o 42,3% atópase dentro do espectro de luz visible (entre $0,4$ e $0,7\ \mu\text{m}$), un 6,3% pertence a os chamados UVA ($0,400 - 0,315\ \mu\text{m}$), o 1,5% ao UVB ($0,315 - 0,280\ \mu\text{m}$), mentres que o 0,5% restante ten unha lonxitude de onda $<0,280\ \mu\text{m}$ (Gibson, 2000), de xeito que o 99% da radiación solar está comprendida entre as lonxitudes de onda $0,15\ \mu\text{m}$ e $4\ \mu\text{m}$. A zona do espectro electromagnético comprendida entre $0,1$ e $100\ \mu\text{m}$ é a que se denomina radiación térmica e está relacionada coa transferencia de calor (Peles).

Esta radiación non é calor, mais convértese en calor mediante a absorción das ondas electromagnéticas pola materia. Os raios do espectro infravermello son en maior parte os responsables do quecemento dos obxectos, pois logran aumentar a axitación das partículas, provocando un aumento de temperatura.

Os raios ultravioletas, en cambio, compórtanse de distinta maneira. A enerxía dun fotón é inversamente proporcional á lonxitude de onda (Lei de Planck). Por tanto, ao ter os raios UV menores lonxitudes de onda,

son moito máis enerxéticos, e dentro do espectro ultravioleta, son máis enerxéticos os raios UVC ca os UVB, e son os UVA os menos enerxéticos. Os raios UVC son totalmente absorbidos ozono e o osíxeno da atmosfera, mais os UVB non son absorbidos completamente, de xeito que o 99% da radiación ultravioleta que acada a terra é do tipo UVA. Aínda así, debido á súa gran enerxía, logran provocar reaccións químicas, o que pode implicar efectos prexudiciais sobre os seres vivos, o medio ambiente e os materiais.

2.3.1.4.2. Efectos adversos

Os principais efectos adversos derivados da radiación solar sobre os paramentos, e dos que o uso de sistemas vexetais verticais pode protexer, serían a degradación e o incremento de temperatura das superficies expostas.

- **Degradación**

Enténdese como degradación dun material todo tipo de transformacións que afectan a súa composición orixinal e repercuten nas súas propiedades e prestacións (San Andrés, Chércoles, de la Roja, & Gómez, 2010). Certos materiais expostos á intemperie, tales como a madeira, os plásticos, o caucho e demais polímeros, degrádanse máis rapidamente con altos valores de radiación ultravioleta, especialmente con altas temperaturas, o que implica unha redución na súa vida útil (Robinson & Wilson, 2010).

A degradación pode ser froito da acción exclusiva da luz, ou pode ser froito dunha combinación desta con outro axente, como pode ser o osíxeno ou a humidade (San Andrés Moya & Viña Ferrer, 2004). Os raios máis enerxéticos que poderían incidir sobre unha superficie na terra serían os do espectro UVB, que poderían chegar a transmitir ata un máximo 427,24 kJ/mol na súa menor lonxitude de onda (0,280 μm), segundo a lei de Planck. Esta cantidade é suficiente para provocar a ruptura de enlaces en determinados grupos químicos presentes na composición dos polímeros, tales como C-H, C-O, C-C, C-N e O-H (San Andrés et al., 2010), só coa acción exclusiva da luz. Mais a acción

combinada da luz, do osíxeno e doutras substancias orgánicas e inorgánicas, tales como partículas metálicas, po ambiental, pigmentos e compostos orgánicos volátiles (COV), poden provocar procesos de degradación oxidativa dos materiais, incluso por raios pertencentes á rexión do espectro de luz visible polo ser humano (San Andrés et al., 2010). Estas transformacións provocan variacións nas propiedades iniciais dos materiais, tales como perda de resistencia, de elasticidade, de cor..., e poden provocar tamén a aparición de novos elementos químicos como os COV.

No caso concreto da madeira, ao estar exposta á luz solar, a capa superficial cambia de cor, xeralmente as madeiras máis escuras vólvense máis claras, mentres que as madeiras máis claras tórnanse escuras (Álvarez Noves & Seoane, 1982), tendendo a acadar cores agrisados con exposicións prolongadas (Sell & Leukens, 1971). A madeira está composta en gran parte de polímeros, tales como a lignina e a celulosa, e é a lignina a máis afectada pola acción dos raios UV. Segundo estudos realizados en madeira de coníferas no oeste dos EE.UU. (Browne & Simonson., 1957), a capa externa máis afectada polos raios UV, que presentaba un entramado de fibras de celulosa fortemente deslignificadas, ten un grosor aproximado de só 0,125 mm, debido á pouca capacidade da luz de penetrar na madeira. Debaixo desa capa atoparíase unha capa escurecida, mais que conservaría o ordenamento estrutural natural da madeira. Aínda que a degradación fotoquímica é un proceso lento (arredor de 5-12 mm cada 100 anos (Feist & Mraz, 1978), debido a pouca penetración dos raios do Sol na madeira, a acción combinada da luz coa humidade debilita a capa externa da madeira e favorece a aparición de microorganismos (Sell & Wälchli, 1969), que non farán máis que acelerar a degradación.

Canto aos materiais pétreos, a efectividade da meteorización por insolación ten un alcance moi limitado, sen chegar a producir danos de gran magnitude. Mais os efectos das temperaturas si teñen influencia sobre outros procesos de deterioro como por exemplo a cristalización de sales ou os ciclos de xeo-desxeo (Pancorbo, 2010).

- **Quecemento**

Enténdese como quecemento a acción de transmitir calor a un corpo, facendo que eleve a súa temperatura (RAG, 2012). Neste caso concreto referímonos á transmisión de calor pola acción da radiación solar. Unha vez que esta calor se transmite por radiación aos paramentos expostos, esta calor pode transmitirse das tres diferentes maneiras (convección, conducción e radiación) aos demais elementos. Este aumento de temperatura pode ser prexudicial para o confort térmico, e pode aumentar os consumos de enerxía de se usaren sistemas de climatización para mitigar os seus efectos en días calorosos; ou pola contra, eses aumentos de temperatura por mor dos raios solares poderían ser beneficiosos con tempo frío. Estes prexuízos para o confort térmico poden estar referidos ao interior das estancias, así como ao exterior.

A existencia de gran cantidade de superficies de formigón, de asfalto, de pedra, de metais etc., que absorben gran cantidade de radiación solar que é transformada en calor, así como a presenza de industrias, de instalacións e demais actividades humanas que desprenden calor ou evitan que se disipe fan que, nos lugares onde máis se acumulen estes factores (contornos urbanos), as temperaturas tanto superficiais como atmosféricas sexan máis elevadas. Este efecto, que fai que as cidades sexan zonas con maiores temperaturas comparado cos arredores suburbanos e rurais, e que se mostren como illas en mapas de isothermas, é definido como **illa de calor** (Geer, 1996).

2.3.1.4.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

Os sistemas vexetais verticais poden protexer os paramentos fronte á radiación solar, e non só polo feito de se interporen entre o Sol e as superficies, función que podería desempeñar calquera outro elemento. Os vexetais son máis efectivos para bloquear a radiación solar porque parte desa enerxía é utilizada na realización da **fotosíntese** (proceso no cal a enerxía luminosa é capturada e gardada por un organismo, para ser usada en

promover procesos celulares (Blankenship, 2002)), así como no proceso de evapotranspiración (explicado no apartado 2.3.1.3), a diferenza doutros elementos, nos que gran parte desa enerxía absorbida sería transformada en calor que radiaría aos elementos da contorna.

Do total de enerxía procedente do Sol incidente nunha folla, arredor do 5-30% é reflectida, un 5-20% é usada na fotosíntese, o 10-50% é transformada en calor, sobre 20-40% é usada no proceso de evapotranspiración e un 5-30% pasa a través da folla (Krushe, Krushe, Althaus, & Gabriel, 1982). Destes datos despréndese que os vexetais absorben entre un 25% e un 60% da enerxía incidente nunha folla, ben por procesos fotosintéticos ou ben por procesos de evapotranspiración, particularidades intrínsecas á súa natureza e da que os demais materiais carecen. Un estudo sobre as follas de hedra mostra uns valores de 14,77% de enerxía reflectida, un 14,82% pasa a través da folla, e o 70,41% restante é absorbida (Di & Wang, 1999), da que parte será usada para a fotosíntese, parte na evapotranspiración e parte será transformada en calor.

Canto á lonxitude de onda, analizaremos o distinto comportamento das plantas en función das distintas bandas do espectro electromagnético:

- A radiación no espectro **ultravioleta** tamén ten efectos nocivos sobre as plantas, xa que poden sufrir queimaduras, inhibición da fotosíntese, danos no ADN... Como a franxa dos raios UVC é absorbida totalmente na atmosfera, a radiación máis perigosa para as plantas é a que se encontra na franxa dos UVB. Para evitaren estes danos, as plantas sintetizan e acumulan certos compostos (como flavonoides e ésteres sinapatos) formando pantallas protectoras fronte aos raios UVB. Concretamente a molécula malato sinapílico é capaz de absorber, sen deixar ocos na cobertura, todas as lonxitudes de onda do espectro UVB, cunha eficiencia do 65% (Dean, Kusaka, Walsh, Allais, & Zwier, 2014). Canto á franxa do ultravioleta menos enerxética, a UVA, poderíamola subdividir en dúas bandas: a banda 315-380 nm que non ten efecto no crecemento da planta, e a banda que limita co violeta do espectro de luz visible polos humanos, a 380-400 nm, que está comprendida dentro do rango usado para realizar a fotosíntese (Spectrum).

- Na realización da fotosíntese, a enerxía do Sol é absorbida inicialmente polos pigmentos da planta. O principal rango de acción destes pigmentos está comprendido entre as lonxitudes de onda de 380 e 720 nm (que abarca todo o **espectro visible** máis unha pequena banda tanto do ultravioleta como do infravermello), onde está concentrada a maior proporción da enerxía solar (45%) (Larcher, 2003). Na natureza existen diversos tipos de pigmentos. Nas plantas vasculares (xunto cos musgos e coas algas verdes) o principal pigmento é a *clorofila a* (de gran absorción en todo espectro visible, agás na cor verde), mais teñen outros pigmentos secundarios como a *clorofila b* e os carotenoides (caroteno tipo α e tipo β , e xantofilas; bos absorbentes na banda dos azuis-violetas) (Lawlor, 1993). A súa proporción é aproximadamente 65% clorofilas, 29% xantofilas e 6% carotenos (Gates, Keegan, Schleter, & Weidner, 1965), aínda que esta porcentaxe de distribución é moi variable, dependendo da especie e do estado da folla (preto do outono as clorofilas teñen menor representación, e por seren estes os únicos pigmentos que absorben de forma relevante o rango de lonxitudes de onda arredor da cor vermella, a coloración das follas vai tomando esa coloración nesta época). Estes pigmentos teñen distintas capacidades de absorción dos fotóns en función da lonxitude de onda da luz (ver gráfico 10), mais ningún absorbe ben as rexións do espectro comprendidas entre os 500 e 600 nm.. Aínda que o rendemento fotoquímico en condicións óptimas na banda entre 400 e 700 nm está arredor do 85 e o 90% (é dicir, a cantidade de fotóns que son absorbidos polos pigmentos fotosintéticos), só o 24-27% é convertida en enerxía química, da que a maior parte é usada en procesos de mantemento celular, e é moito menor a enerxía destinada á creación de biomasa (sobre un 5%). Hai que ter en conta que o sistema fotosintético pode chegar a saturarse por exceso de luz (Taiz & Zeiger, 2006), o que reduciría o rendemento fotoquímico, pois a capacidade de absorción de fotóns sería constante acadado este límite, independentemente da cantidade de fotóns incidentes.

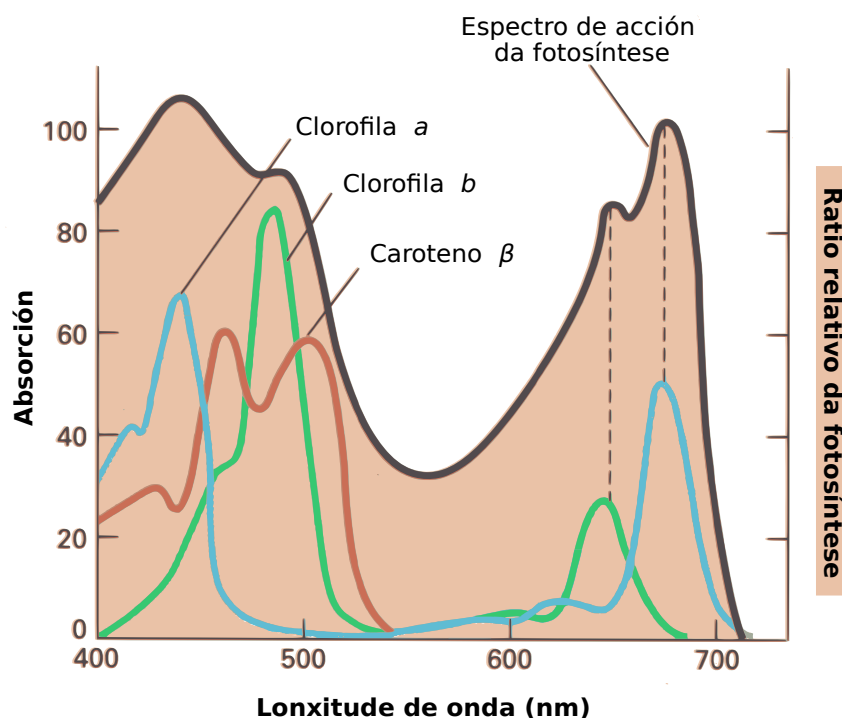


Gráfico 10: Espectro de acción da fotosíntese nas plantas (liña negra) e espectro de absorción de tres dos pigmentos presentes nas plantas (liñas de cor) (fonte: Amon et al., 2013)

- Canto á banda do **infravermello** (0,7 - 1000 μm), o comportamento varía notablemente. Como xa se describiu, a acción fotosintética das plantas non ten relevancia máis aló do 0,7 μm . Non se coñece ningún organismo que poida utilizar a luz con lonxitudes de onda maiores a aproximadamente 1 μm (o que comprende o 30% da radiación solar) para a realización da fotosíntese (Blankenship, 2002). A partir dos 0,7 μm , ata os 1,2 μm existe outra banda na que as plantas teñen unha pequena absorción, mais a partir do 1,2 μm a absorción debida á auga aumenta de forma notable (Gates et al., 1965). Isto é debido á gran cantidade de auga presente na masa das células vexetais (entre o 80 e 95%) (Taiz & Zeiger, 2006), e ao espectro de absorción da auga, que absorbe gran parte das radiacións de lonxitudes de onda maiores a esa cifra (ver gráfico 11). Hai que ter en conta que pode haber unha notable diferenza entre as follas secas e as que non o están. En diversos experimentos demostrouse que as follas secas reflectían moito máis a luz (absorbían moito menos) que en condicións normais de humidade (Vaughan, Chuvieco Salinero, & Riaño, 2000; Vaughan, 2001; Westman

& Price, 1988), como por exemplo as follas de figueira, que reflicten a luz catro veces máis na banda situada arredor dos 1,9 μm ao estaren secas (Short, 1982).

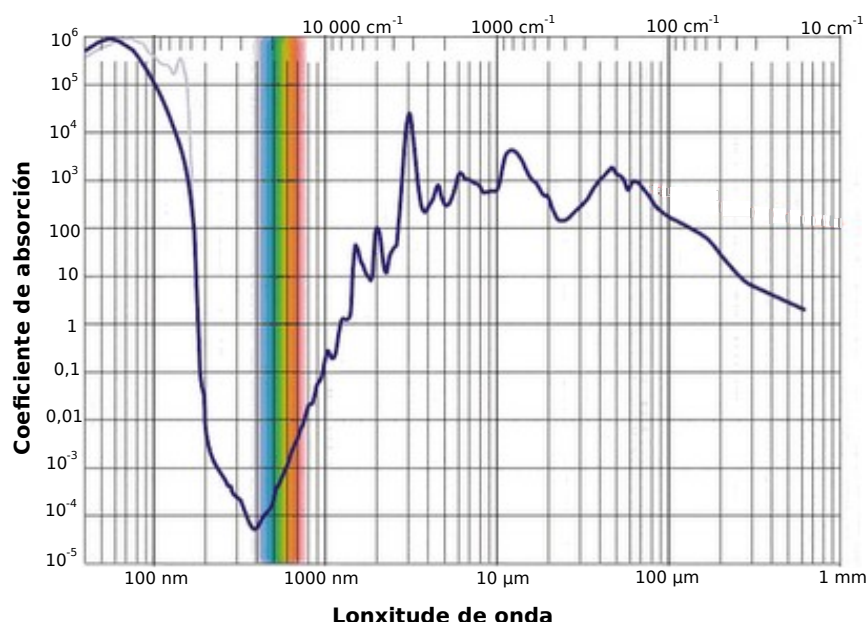


Gráfico 11: Espectro de absorción da auga (fonte: Sohn, Sohn, & Kim, 2012)

2.3.1.5. ABSORCIÓN DO CO_2

2.3.1.5.1. Introducción

O dióxido de carbono, óxido de carbono (IV), gas carbónico ou anhídrido carbónico é un gas (en condicións normais), notado como CO_2 e cunha estrutura molecular simétrica representada como $\text{O}=\text{C}=\text{O}$. Este gas é incoloro e inodoro, máis denso ca o osíxeno, e pode acumularse nas zonas máis baixas chegando a producir deficiencia de osíxeno (INSHT, 2006). Prodúcese principalmente en procesos de combustión, de respiración dos distintos organismos e de descomposición de materia orgánica.

O dióxido de carbono, xunto co vapor de auga, é o principal responsable da absorción da enerxía infravermella re-emitida, e de que parte desa enerxía se re-irradie de volta cara a superficie da terra (Manahan, 2007).

Este gas atópase na atmosfera nunha concentración media mundial de 396,0 ppm en mostras de aire seco, segundo últimos datos da Organización

Meteorolóxica Mundial (datos do ano 2013), e experimentou un aumento da súa concentración atmosférica do 142% respecto ao ano 1750, e un 0,74% respecto ao ano 2012 (OMM, 2014).

2.3.1.5.2. Efectos adversos

O CO₂ está considerado (xunto con outros gases coma o metano, o ozono, os óxidos de nitróxeno, CFCs e o vapor de auga) coma un dos gases que favorecen o **efecto invernadoiro**. Este efecto prodúcese debido a que a radiación emitida polo Sol traspasa mellor a atmosfera ao entrar na terra que a radiación que emite a terra (de lonxitudes de onda maiores) unha vez absorbida a enerxía procedente do Sol, evitando que saia esa enerxía. Prodúcese así un desequilibrio entre a enerxía que entra e a que sae, polo que a terra tende a se quentar. O dióxido de carbono e os demais gases de efecto invernadoiro son os causantes de que a radiación infravermella emitida pola terra non saia ao exterior, pois absorben esta radiación e vólvena irradiar en todas as direccións, polo que unha parte da enerxía que debería saír para manter o equilibrio térmico é devolta á terra. O seu comportamento sería semellante ao dos vidros dun coche ou ao dos plásticos dos invernadoiros (deixa entrar máis enerxía da que sae), de aí que este efecto reciba ese nome. Os efectos adversos do exceso de dióxido de carbono na atmosfera, xunto co aumento da súa magnitude, fan que sexa necesario reducir a súa presenza.

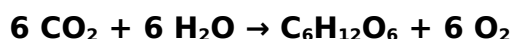
2.3.1.5.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

No ano 1771, o científico británico Joseph Priestley, considerado como o descubridor do osíxeno (mérito tamén atribuído a Carl Wilhelm Scheele e Antoine Lavoisier) decatouse de que as plantas eran capaces de cambiaren a composición do aire. Nesa época críase que nos procesos de combustión se liberaba unha substancia chamada flogisto, que era velenosa para os animais. Nun dos seus experimentos colocou nun recipiente pechado unha candea xunto cunha planta de menta, ata que a candea se apagou. Dez días despois, foi quen de prender outra vez a candea nese recinto pechado, supostamente cheo de flogisto debido á combustión da candea, polo que concluíu (xunto con outros experimentos posteriores que o confirmaron) que as plantas eran capaces de “desflogistizar” o aire (Priestley, 2013). Acababa de identificar o

que hoxe chamamos dióxido de carbono e osíxeno, así como o proceso vexetal capaz de converter o primeiro no segundo: a fotosíntese.

As plantas, como organismos autótrofos e fotosintéticos, son capaces de sintetizar todas as substancias esenciais para o seu metabolismo a partir de substancias inorgánicas como o dióxido de carbono, utilizando a luz como fonte de enerxía. Este proceso transforma a enerxía luminosa en enerxía química. Esta enerxía serve como fonte para todas as formas de vida. De feito, a enerxía dos combustibles fósiles é froito da biomasa producida hai millóns de anos (Mann, Gahagan, & Gordon, 2003).

As reaccións químicas da fotosíntese son complexas. Existen polo menos 50 reaccións intermedias distintas (Taiz & Zeiger, 2006), que parten da absorción dos fotóns polos pigmentos da planta e que son almacenados como enerxía química a través da formación de enlaces químicos, culminando coa formación de carbohidratos. Estes procesos pódense representar de forma simplificada mediante a expresión seguinte:



- O CO_2 é a fonte de carbono, elemento principal da química orgánica.
- A auga (H_2O) fai o papel do composto oxidable (composto do cal se poden extraer electróns) que utilizan a maioría dos organismos fotosintéticos para iniciar as reaccións químicas da fotosíntese, mais algunhas bacterias fotosintéticas utilizan o anhídrido sulfúrico (H_2S).
- O elemento $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ representa un azucre simple como a glucosa. É usada como fonte de enerxía na respiración celular, e é o compoñente principal de polímeros de importancia estrutural coma a celulosa, así como polímeros para o almacenamento de enerxía, coma o amidón (ou o glicóxeno nos animais) (Devlin, 2006).
- O O_2 é un excedente desta reacción, que se libera á atmosfera.

Por tanto, as plantas converten na fotosíntese o carbono inorgánico do CO_2 en compostos orgánicos que utilizan tanto como fonte de enerxía como para construír as súas propias estruturas, liberando osíxeno. Hai que ter en conta

que parte deste CO₂ captado na fotosíntese devólvese á atmosfera debido ao proceso de respiración, e é liberado na respiración unha media do 59% do carbono captado na fotosíntese, dependendo do tipo de planta (Amthor, 2000).

Hai que ter en conta que os sistemas vexetais naturais, debido a súa natureza, non son boas reservas de carbono. O ciclo de vida e morte das plantas ten como resultado a acumulación de tecidos vexetais en descomposición e produce unha gran cantidade de carbono orgánico no solo (McVay & Rice, 2005).

A cantidade de carbono retida polos vexetais terrestres (560 PgC (560·10¹⁵ g de carbono)) respecto ao total retido polos vexetais xunto co solo é aproximadamente 24% (media estimada de diversas fontes e tipos de bioma). Nos bosques de zonas temperadas (cunha superficie media estimada de 1,04·10⁹ ha), os vexetais reteñen 59 PgC (37%) e o solo 100 PgC. En pradeiras e matogueiras temperadas (cunha superficie media estimada de 1,51·10⁹ ha), os vexetais reteñen unha media de 16 PgC (6%) e o solo 235,5 PgC (Houghton et al., 2001).

Os sistemas vexetais verticais teñen certas características que fan que a súa capacidade para reteren carbono sexa moito menor respecto a calquera outra área con vexetación, tanto natural como artificial:

- Disposición vertical: os tecidos vexetais que se desprenden das plantas e que pola acción da gravidade rematarían podendo acumularse no solo, tenden a saír do sistema debido á súa disposición vertical.
- Minimización do solo: co fin de facer máis lixeiros e económicos os sistemas vexetais verticais, os espesores do solo tenden a ser mínimos, incluso inexistentes nos sistemas hidropónicos (xeralmente, nos sistemas vexetais verticais (agás nos tradicionais) este elemento denomínase substrato e non solo, polo feito de non teren a súa complexidade físico-química e biolóxica).
- Inexistencia de estratos: os ecosistemas naturais conteñen distintos niveis en altura, coas súas características, tales como solo, sotobosque, troncos, copas... estratos dos que os sistemas vexetais verticais xeralmente carecen. Por tanto, o volume de biomasa por superficie e

moito menor, polo que menor é tamén a cantidade desa biomasa que se pode desprender e acumular.

En consecuencia, tendo en conta, por unha banda, que a maior parte do carbono acaba retida no solo (76% en xeral, 94% en pradeiras e matogueiras, bioma que máis se podería asemellar a os sistemas vexetais verticais) e, por outra banda, que as características dos sistemas vexetais verticais fan que o volume de solo sexa mínimo ou nulo e que a cantidade de carbono procedente da propia biomasa do sistema que se poida acumular nel sexa tamén mínima, pódese concluír que capacidade de retención de carbono dos sistemas vexetais verticais é reducida, e está moi limitada ao volume de biomasa existente en cada momento.

A maiores, ao adoitar a estar estes sistemas en medios urbanos, a biomasa excedente, ben por que se desprende ou ben porque se retira nas labores de mantemento, non adoita rematar no mesmo lugar. Isto implica unha necesidade de transporte, o que pode supor emisións de CO₂. En función do destino desta biomasa (queima, descomposición...), o carbono retido na estrutura da planta pode volver ser liberado á atmosfera.

2.3.1.6. CAPTACIÓN DE CONTAMINANTES E PARTÍCULAS

2.3.1.6.1. Introducción

A contaminación do aire pódese dar tanto en exteriores (chamada contaminación ambiental ou atmosférica) coma en ambientes interiores, coma na casa, nos lugares de traballo ou de estudo, ou mesmo dentro dos vehículos.

Enténdese por contaminación atmosférica a presenza no aire de materias ou formas de enerxía que implican risco, dano ou molestia grave para as persoas e bens de calquera natureza (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004).

Segundo o CTE, contaminantes do aire interior son aquelas substancias que, durante o uso dun local, se incorporan ao aire interior e deterioran a súa calidade nunha medida tal que pode producir molestias inaceptables ou enfermidades nas persoas ocupantes do local (Ministerio de Fomento).

As principais causas da contaminación urbana local son a industria, as

calefaccións e o tráfico, e nos tres casos, o problema deriva da utilización dos combustibles fósiles, o carbón e o petróleo, como fonte de enerxía, xa que os residuos da combustión pasan á atmosfera. As emisións máis importantes que se fan á atmosfera son as emisións de óxidos de nitróxeno, de compostos orgánicos volátiles (COV, ou VOC en inglés), de monóxido de carbono, de compostos de xofre, de chumbo e do total de partículas en suspensión (TPS, en inglés TSP) (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004).

Os contaminantes en interiores inclúen o fume de tabaco, partículas biolóxicas e non biolóxicas, os compostos orgánicos volátiles, os óxidos de nitróxeno, o chumbo, o radon, o monóxido de carbono e produtos químicos sintéticos, entre outros, e poden unirse con aqueles contaminantes que penetran desde o exterior. Os niveis dalgúns contaminantes poden ser moito máis elevados en interiores ca en exteriores. A Axencia de Protección Ambiental sinala que nalgúns cidades estadounidenses as concentracións de óxidos de nitróxeno, de monóxido de carbono, de materia particulada e de compostos orgánicos volátiles poden acadar niveis de concentración entre 2 e 5 veces maiores que en exteriores (INECC, 2013).

A **Directiva 2008/50/CE** do Parlamento Europeo do Consello de 21 de Maio de 2008 relativa á calidade do aire ambiente e a unha atmosfera máis limpa en Europa, establece un sistema de avaliación da calidade do aire ambiente con relación ao dióxido de xofre, ao dióxido de nitróxeno e aos óxidos de nitróxeno, ás partículas PM10 e PM2,5, ao chumbo, ao benceno e ao monóxido de carbono, así como ao ozono.

A **Lei 34/2007**, do 15 de novembro, de calidade do aire e protección da atmosfera mostra a seguinte relación de contaminantes atmosféricos: óxidos de xofre, óxidos de nitróxeno e outros compostos de nitróxeno, óxidos de carbono, ozono, compostos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos e compostos orgánicos persistentes, metais e os seus compostos, material particulado (incluídos PM10 e PM2,5), amianto (partículas en suspensión, fibras), halóxenos e os seus compostos, cianuros, policlorodibenzodioxinas e policlorodibenzofuranos, así como substancias que esgoten a capa de ozono e outras nas que existan indicios de ter propiedades canceríxenas mutáxenas, xenoestróxenas ou poidan afectar á reprodución a

través de aire.

O **Real decreto 102/2011, do 28 de xaneiro, relativo á mellora da calidade do aire** enumera os seguintes contaminantes: dióxido de xofre, dióxido de nitróxeno e óxidos de nitróxeno, partículas (PM10 e PM2,5), chumbo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel, mercurio, benzo[a]pireno e outros hidrocarburos aromáticos policíclicos, precursores do ozono (compostos orgánicos volátiles e precursores do ozono), amoníaco, cloro molecular, cloruro de hidróxeno, compostos de flúor, fluoruro de hidróxeno, sulfuro de hidróxeno, sulfuro de carbono e arsénico.

Tendo en conta estas normativas, concluímos que os principais contaminantes primarios que se poden atopar tanto en interiores como no exterior son:

- **Dióxido de xofre (SO₂)**

Hai numerosas fontes de xofre atmosférico, coma as bacterias anaeróbicas, os organismos no océano e as emisións de volcáns. Con todo, as fontes máis importantes do dióxido de xofre atmosférico son a combustión do carbón e do petróleo e dos seus derivados. Moitos factores, coma a temperatura, a humidade, a luz, o transporte atmosférico e as características da materia particulada, poden influír nas reaccións químicas atmosféricas do dióxido de xofre. Gran parte do dióxido de xofre presente na atmosfera remata oxidándose a ácido sulfúrico (H₂SO₄), anhídrido sulfúrico e sulfatos. A presenza de hidrocarburos e óxidos de nitróxeno aumenta considerablemente a velocidade de oxidación do SO₂ atmosférico (Manahan, 2007).

- **Óxidos de Nitróxeno**

Os óxidos de nitróxeno atopados en maior parte na atmosfera son o **óxido nítrico** (NO), o **óxido nítrico** (NO) e o **dióxido de nitróxeno** (NO₂). A química dos óxidos de nitróxeno e doutros compostos nitroxenados é moi importante en ámbitos como a formación de néboa tóxica (tamén chamada *smog*, anglicismo formado da unión das palabras *smoke* -fume- e *fog* -néboa-), chuvia ácida e esgotamento do ozono estratosférico.

O **óxido nitroso** (N_2O) é un compoñente da atmosfera non contaminada (arredor de 0,3 ppm), e é producido por procesos microbiolóxicos. Non inflúe significativamente nas reaccións químicas da parte máis baixa da atmosfera, mais pode contribuír ao esgotamento da capa de ozono.

O **monóxido de nitróxeno** (óxido nítrico ou NO) e o **dióxido de nitróxeno** (NO_2), tamén denominados como NO_x , son importantes no aire contaminado. Estes gases pasan a formar parte da atmosfera desde fontes naturais, coma lóstregos e procesos biolóxicos, e de fontes contaminantes. A maior parte de NO_x antropoxénica (arredor de 20 millóns de toneladas ao ano) entra na atmosfera a partir da queima de combustibles fósiles, tanto en fontes estacionarias coma móbiles. As reaccións químicas atmosféricas converten os NO_x en ácido nítrico (HNO_3), sales de nitrato inorgánicas, nitratos orgánicos e nitrato de peroxiacilo (tamén coñecido como PAN) (Manahan, 2007).

- **Monóxido de carbono (CO)**

O monóxido de carbono é un elemento tóxico presente na atmosfera de forma natural, en forma de gas, e que se comporta coma un contaminante cando se atopa por riba das concentracións normais. É un produto da combustión incompleta do carbón, do petróleo e da madeira e está presente nos fumes de escape de vehículos, así como no fume do tabaco (INSHT, 2007). As emisións antropoxénicas do monóxido de carbono cuantifícanse nun 6% do total, mais tamén se produce na descomposición de materia orgánica, como a clorofila no outono (arredor do 20% das emisións). Debido á súa emisión por motores, os niveis máis altos deste gas danse en zonas urbanas conxestionadas polo tráfico. Neste contexto pódese dar concentracións de 50-100 ppm (fronte á súa concentración normal na atmosfera de 0,1 ppm), moi perigosas para a saúde (Manahan, 2007).

Tanto no aire, ao reaccionar con outras substancias, como no solo, mediante microorganismos, degrádase ao se transformar en dióxido de carbono. Non se acumula en plantas nin en tecidos animais.

- **Compostos orgánicos volátiles (COV)**

Os compostos orgánicos son substancias químicas que conteñen carbono e que se atopan en todos os elementos vivos. Os compostos orgánicos volátiles son os compostos orgánicos que se converten facilmente en vapores ou gases. Xunto co carbono, conteñen elementos como hidróxeno, osíxeno, flúor, cloro, bromo, xofre ou nitróxeno. Os COV libéranse pola queima de combustibles, como a gasolina, a madeira, o carbón e o gas natural. Tamén proveñen de emisións dos xacementos de petróleo e gas e dos vapores do combustible diésel. Tamén son liberados por disolventes, pinturas, pegamentos e outros produtos empregados e almacenados tanto no fogar como en lugares de traballo.

Moitos compostos orgánicos volátiles adóitanse usar como disolventes de pinturas e lacas, repelentes de insectos, ambientadores, protectores da madeira, substancias en aerosol, disolventes de graxa, produtos de uso automotor e líquidos para a industria de lavado en seco (Tox Town, 2015).

A súa importancia débese a que, por unha banda, actúan como precursores dos procesos de oxidación fotoquímica, o que produce ozono troposférico e dá lugar ao *smog* fotoquímico; e, por outra, moitos deles son tóxicos e canceríxenos. O número de COVs presentes na atmosfera é de varios centenaes (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004). Algúns deles son o benceno, o tolueno, o formaldehído, o clorobenceno, o xileno, a acetona, o tricloroetileno, o propano, o butano, o acetileno, o acetaldehído, o trimetilbenceno... Algunhas fontes inclúen o metano, mais outras non o consideran COV, como por exemplo o Real decreto 102/2011, que define os COV como “todos os compostos orgánicos procedentes de fontes antropoxénicas e bioxénicas, distintos do metano, que poidan producir oxidantes fotoquímicos por reacción con óxidos de nitróxeno en presenza de luz solar”. O metano non é un gran precursor dos procesos de oxidación fotoquímica, mais si que ten unha influencia relevante no efecto invernadoiro.

- **Metais pesados**

Este termo utilízase para definir un grupo de metais e metaloides que se asocian coa contaminación e a toxicidade ou ecotoxicidade, aínda que esta definición como “metal pesado” non é un concepto ben definido (Duffus, 2002). Os principais metais pesados son o chumbo, o mercurio, o arsénico e o cadmio (ATSDR, 2009), aínda que existen moitos outros coma o níquel, o cobalto, o cromo, o cobre, o manganeso, o estaño, o talio, o cromo, o ferro, o aluminio, o cinc, o berilio... A súa orixe pode ser natural (procedente dos distintos minerais que compoñen o solo) ou antropoxénica, por actividades industriais (fundicións, transporte...), mineiras ou agrícolas (mediante fertilizantes que conteñen trazas, praguicidas...) (SAG).

Pódense manifestar como partículas, ou como gases no caso do mercurio. No solo, os metais pesados están presentes como ións libres, compostos metálicos solubles, compostos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos. A súa acción directa sobre os seres vivos ocorre a través do bloqueo das actividades biolóxicas, e dicir, a inactivación encimática pola formación de enlaces entre o metal e os grupos sulfhidrilos das proteínas, causando danos irreversibles (Sierra Villagrana, 2006).

- **Clorofluorocarbonos (CFC)**

Os clorofluorocarbonos son un grupo de compostos químicos fabricados que conteñen cloro, flúor e carbono. Son incoloros, inodoros, inocuos, incombustibles e estables cando se emiten. Despois da súa emisión, acadan a estratosfera, divídense e emiten átomos de cloro que reaccionan co ozono, destruindo a capa de ozono protectora do planeta, motivo polo que foron prohibidos. Usábanse como aerosois, en refrixeradores, disolventes, escumas, illantes etc. aínda que foron substituídos por outros elementos coma os hidrofluorocarbonos (Tox Town, -a).

- **Compostos orgánicos persistentes (COP)**

Son compostos que, polas súas características fisicoquímicas, resisten

en grao variable a degradación fotoquímica, química e bioquímica, o que causa que a súa vida media no medio ambiente sexa elevada. Aínda que existen de modo natural, a maioría son xenobióticos (sintetizados por humanos) (Albert, 1997). Pódense desprazar a grandes distancias, distribuírse amplamente por medio de procesos naturais e acumularse en tecidos graxos de organismos vivos. Tenden a se acumular en maior proporción ao ascenderen na cadea alimentaria, de xeito que acadan altas concentracións en aves depredadoras, peixes, e mamíferos coma o ser humano.

No Convenio de Estocolmo do 2001, regúlase o uso de 12 tipos destes compostos. Deses doce, nove son praguicidas ou insecticidas (aldrina, clordano, dicloro difenil tricloroetano (DDT), dieldrín, endrín, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex e toxafeno). Os chamados bifenilos policlorados (BCF), xunto cos hexaclorobenceno, son substancias químicas utilizadas na industria. Os furanos e as dioxinas (xunto co hexaclorobenceno e os BPC) son subprodutos da maioría das operacións de queima, como as de madeira e lixo, fume de cigarros e emisións de automóviles, e procesos industriais nos que interveña o cloro (SAG).

- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)**

Os hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) compostos orgánicos formados pola unión de aneis aromáticos simples (Fetze, 2007). Algúns deles poderíanse considerar tamén como compostos orgánicos persistentes. Fórmanse durante a incineración incompleta do carbón, do petróleo, do gas, da madeira, do lixo, e doutras substancias orgánicas coma o tabaco e a carne asada con carbón, polo que poden proceder de fontes naturais como volcáns ou incendios forestais, ou de fontes antropoxénicas como industrias e automóviles. Como substancias químicas puras, estas substancias existen normalmente como sólidos incoloros, brancos ou verdes amarelados, mais atópanse xeralmente como mesturas complexas, como por exemplo formando partes de produtos de combustión como a feluxe (fume negro). Os HAP atópanse tanto no aire e na auga coma no solo, de xeito que poden formar parte

de partículas en suspensión. Existen máis de 100 clases diferentes de HAP, mais algúns deles son o acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, fenantreno, pireno... (ATSDR, 1995)

En xeral, os HAP non se disolven facilmente en auga. No aire poden estar presentes como vapores, mais a maioría están adheridos ás superficies de pequenas partículas sólidas, que rematan depositándose no fondo de ríos e lagos (ATSDR, 1995) .

- **Partículas en suspensión (PM)**

A materia particulada (ou PM, siglas do inglés) ou partículas en suspensión, consiste na acumulación de diminutas porcións de sólidos ou de pinguiñas de líquidos na atmosfera, xerada a partir dalgunha actividade, ben antropoxénica ou ben natural (Spiro & Stigliani, 2003). Está constituída por unha gran variedade de elementos separados e, por tanto, algúns dos contaminantes xa mencionados (metais pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos...), pódense dar desta forma, ben como sólidos ou ben como líquidos.

A composición da materia particulada atmosférica é bastante diversa (poden ser metais, sales, materiais carbonosos, compostos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, endotoxinas... que poden actuar entre elas formando outros compostos (Billet et al., 2007)). Os principais elementos inorgánicos traza, que existen tipicamente a niveis superiores a $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ de materia particulada, son o aluminio, o calcio, o ferro e o silicio (procedentes da erosión do solo, po de rochas, combustión do carbón...), o carbono (procedente da combustión incompleta de combustibles carbonosos), o sodio (xunto co cloro, procede en gran parte como cloruro de sodio de aerosois mariños) e o potasio, así coma o chumbo e outros elementos que se dan en menor medida. Gran parte da materia particulada mineral nunha atmosfera contaminada está en forma de óxidos e doutros produtos

producidos na queima de combustibles fósiles. Tamén pode darse en forma de fibras minerais, coma no caso do amianto. As partículas máis pequenas que burlan os sistemas colectores e escapan á atmosfera son as chamadas cinzas voantes, e están compostas xeralmente de óxidos de aluminio, calcio, ferro e silicio (Manahan, 2007).

Canto ás partículas orgánicas, unha gran porción prodúcena os motores de combustión. Un estudo de materia particulada emitida polos motores de gasolina e gasóleo de automóbiles, autobuses e camións, mediu máis de 100 compostos distintos (Reid & Sayer, 2002). Dentro destas partículas atópanse os hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Algunhas partículas son de orixe biolóxico, coma os virus, as bacterias, as esporas e o pole (Manahan, 2007).

Estas partículas clasifícanse segundo o seu tamaño. As partículas cun diámetro entre 2,5 e 10 μm denomínanse PM_{10} , mentres que as menores de 2,5 μm denomínanse $\text{PM}_{2,5}$ (Brunshidle & Brunshidle & Nabeel & Sullivan, 2003).

2.3.1.6.2. Efectos adversos

Individualmente estes contaminantes poden causar unha gran variedade de prexuizos:

- **Dióxido de Xofre (SO_2)**

A exposición a niveis baixos ten efectos adversos para a saúde, principalmente no tracto respiratorio, provocando irritacións, entorpecemento do fluxo de aire (Manahan, 2007). As concentracións de dióxido de xofre que se poden atopar ao aire libre varían entre 0 e 1 ppm, e considérase a exposición a 100 ppm un perigo inmediato para a saúde e para a vida (ATSDR, 1998). A exposición a inhalación prolongada ou repetida pode orixinar asma (INSHT, 2006a).

É prexudicial para as plantas, xa que produce necrose das follas; e clorose, ao amarelar ou branquear as partes verdes. Os seus danos son maiores canto maior é a humidade, e cando as plantas teñen os seus

estomas abertos (normalmente nas horas de luz) (Manahan, 2007).

Tamén produce deterioro en materiais de construción como a calcaria, o mármore, a dolomita e demais minerais carbonatados de calcio ou magnesio, formando compostos solubles en auga ou ben costras pouco adherentes (Manahan, 2007).

- **Monóxido de nitróxeno (NO) e dióxido de nitróxeno (NO₂)**

O NO é menos tóxico que o NO₂. Igual que o CO, pode adherirse á hemoglobina, reducindo a eficacia de transporte de osíxeno do sangue, aínda que debido a que súa concentración é moito menor ca a do CO, os seus efectos non son tan significativos (Manahan, 2007).

Os niveis baixos de óxidos de nitróxeno no aire poden irritar os ollos, o nariz, a gorxa, os pulmóns e posiblemente causar tose e sensación de falta de alento, cansazo e náuseas. Tamén poden producir a acumulación de líquido nos pulmóns un ou dous días despois da exposición. A niveis altos, pode producir graves trastornos, mesmo a morte (ATSDR, 2002).

Un exemplo significativo de intoxicación é a chamada “enfermidade do silo” causada polo NO₂ xerado pola fermentación de materiais biolóxicos ensilados que conteñen nitratos, tales como pés de millo ou de sorgo triturados para alimento do gando (Manahan, 2007).

- **Monóxido de Carbono (CO)**

O monóxido de carbono substitúe o osíxeno no sangue, reducindo a súa transferencia aos tecidos. Os órganos máis afectados son o cerebro e o corazón. En función do grao de exposición, os síntomas que poden presentar as persoas que o inhalen van desde dores de cabeza, confusión, deficiencia psicomotriz, taquicardias ata o coma e a morte (Teitelbaum, 2009).

- **Compostos orgánicos volátiles (COV)**

Moitos compostos orgánicos volátiles son perigosos contaminantes do aire. Por unha banda, os COV actúan como precursores dos procesos de oxidación fotoquímica, o que produce ozono troposférico que dá lugar

ao *smog* fotoquímico (ao reaccionar cos óxidos de nitróxeno), fenómenos que analizaremos posteriormente. Por outra banda, moitos deles son tóxicos e canceríxenos. Os seus efectos dependerán da natureza de cada composto e do grao e do período de exposición.

Segundo o *Décimotercer Informe sobre Carcinógenos* publicado polo Programa Nacional de Toxicología (NTP, 2014), o benceno e o formaldehído son canceríxenos en humanos, e o el percloroetileno e o estireno son “canceríxenos en humanos segundo previsións razoables”. A exposición a longo prazo aos COV pode causar lesións no fígado, nos riles e no sistema nervioso central. A curto prazo, pode irritar os ollos e as vías respiratorias, provocar dores de cabeza, trastornos visuais, fatiga, perda de coordinación, reaccións alérxicas na pel, náuseas e trastornos da memoria (Tox Town, 2015).

- **Metais pesados**

Aínda que algúns son necesarios para os seres humanos, en pequenas proporcións, outros son tóxicos e canceríxenos, e en xeral, prexudiciais para a saúde dos humanos e para a maioría das formas de vida. A perigosidade dos metais pesados é maior ao non ser química nin bioloxicamente degradables, pois poden permanecer no medio ambiente centos de anos. Ademais, a súa concentración nos seres vivos aumenta a medida que uns van sendo inxeridos por outros (Eroski Consumer, 2001).

Un exemplo da toxicidade en humanos de catro dos máis tóxicos:

O **arsénico** (un dos metais máis tóxicos) deposítase no sistema respiratorio e tende a acumularse na pel, no pelo e nas unllas. A exposición ao arsénico pode causar desde febre, anorexia, envelenamento do sistema nervioso, dano hepático, enfermidades vasculares, ata cancro de pel, cancro de pulmón e a morte.

O **cadmio** causa náuseas, vómitos, irritación do nariz e da gorxa, tose, mareos, debilidade, calafríos, febre, dificultade para respirar, dor abdominal, pneumonía química e líquidos no pulmón. A toxicidade

aguda do cadmio por inhalación leva a una afección coñecida como febre do fume metálico. A toxicidade crónica deriva en enfermidades pulmonares obstrutivas crónicas, enfisema e enfermidade renal. Tamén produce efectos prexudiciais no sistema cardiovascular e no esqueleto.

Os efectos tóxicos do **chumbo** son enfermidades cerebrais en nenos, que se manifestan con letargo, vómito, irritabilidade, perda de apetito e mareos. En adultos, o chumbo produce presión arterial alta, e efectos prexudiciais para a reprodución. Un síntoma clásico da toxicidade do chumbo son decoracións de cor violeta azulado nas enxivas.

Canto ao **mercurio** afecta principalmente ao cerebro, pode causar tremores, alteracións da personalidade, e danar de forma permanente o sistema nervios central. Pode afectar tamén a outras zonas, coma os riles (ATSDR, 2009).

- **Clorofluorocarbonos (CFC)**

Aínda que actualmente están prohibidos, aínda se poden usar de forma limitada, ou aínda se poden atopar almacenados. Algúns dos seus efectos sobre a saúde por exposición directa son dificultades respiratorias, arritmias, confusión, mareo, tose, dor de gorxa e de ollos e mesmo perda do coñecemento. En contacto directo coa pel, algúns tipos de CFC poden causar queimaduras por frío ou sequidade da pel. Aínda que os seus principais efectos adversos son o aumento do efecto invernadoiro e, en especial, a destrución do ozono estratosférico (Tox Town, a).

- **Compostos orgánicos persistentes (COP)**

Son substancias orgánicas que posúen propiedades tóxicas e que resisten a degradación, provocando efectos adversos na saúde das persoas e no medio ambiente en xeral. Moitos deles son canceríxenos (NTP, 2014), e a exposición a eles pode implicar doenzas como danos nos sistemas nervioso, hormonal, reprodutivo, endócrino e inmunitario do ser humano (Tox Town, b).

- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)**

En certas circunstancias, os HAP poden ser prexudiciais para a saúde. Estudos realizados en seres humanos demostran que as persoas expostas a través da respiración ou do contacto coa pel durante períodos longos de tempo con elementos que conteñen HAP poden contraer cancro. En estudos con animais, tamén se demostraron outras doenzas, como problemas reprodutivos, defectos conxénitos e diminución do peso corporal nas crías, problemas na pel, nos fluídos corporais e no sistema inmune, aínda que non foron demostradas en humanos (ATSDR, 1995).

- **Partículas en suspensión**

As partículas en suspensión teñen diversos efectos, o máis obvio é que distorsionan e reducen a visibilidade. Proporcionan superficies activas nas que se facilita a ocorrencia de reaccións químicas. Tamén proporcionan corpos de nucleación para a condensación de vapor de auga atmosférico, de xeito que teñen moita influencia na meteoroloxía e nos fenómenos de contaminación do aire.

As partículas inhaladas a través do tracto respiratorio poden danar a saúde. As partículas relativamente grandes, retéñense na cavidade nasal e na farinxa, mentres que as partículas máis pequenas rematan nos pulmóns, onde poden quedar retidas (o que pode provocar enfermidades respiratorias, diminución da función pulmonar, bronquite crónica, incluso cancro o a morte (Tox Town, c), como por exemplo as coñecidas doenzas provocadas polo amianto), ou se son moi pequenas, poden pasar aos fluídos corporais, provocando moitas outras doenzas, dependendo do tipo de partícula.

As pingas de auga tamén forman parte da materia particulada. Actúan como portadores de contaminantes, coma sales corrosivos e solucións de ácidos fortes. Tamén serven de medio onde se poden dar diversos procesos químicos atmosféricos (Manahan, 2007).

Con todo, combinados, os efectos de todos estes contaminantes poden

manifestarse doutras formas:

- **Chuvia ácida**

Como xa vimos, os óxidos de xofre e de nitróxeno, tras un proceso de oxidación na atmosfera, dan como resultado ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (HNO_3). Estes elementos disólvense nas pingas de chuva producindo unha precipitación ácida e moi corrosiva, tanto en forma de chuva, como de neve ou néboa (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004). Este termo refírese á precipitación significativamente máis ácida que a chuva non contaminada, xa que esta é algo ácida debido á presenza de dióxido de carbono (que forma ácido carbónico), o que orixina unhas precipitacións cun pH ó redor de 5,6. Só a chuva que sexa significativamente máis ácida que este valor, cun pH=5 ou menor é considerada como chuva ácida (Baird, 2014). Este fenómeno é considerado rexional e non local, pois os gases que o causan oxídanse e deposítanse logo de varios días, tempo durante o cal as masas de aire poden terse movido varios miles de km. Como consecuencia, as chuvias ácidas poden provocar: toxicidade directa nas plantas por altas concentracións ácidas, o que pode implicar a destrución de bosques sensibles, efectos negativos no aparato respiratorio en humanos, acidificación de acuíferos con efectos tóxicos para a fauna e a flora, corrosión de materiais e estruturas expostas, e outros efectos asociados (Manahan, 2007).

- **Creación de ozono troposférico**

Aínda que o ozono (O_3) é un compoñente esencial da estratosfera, que nos protexe das radiacións ultravioletas, tamén é un contaminante indesexable na troposfera. Fórmase debido á acción da luz solar sobre certos contaminantes, coma os óxidos de nitróxeno e os compostos orgánicos volátiles, que se combinan para formaren o ozono, que é o principal ingrediente da bruma industrial ou *smog* (explicado a coninuación).

O ozono, a 0,15 ppm causa tose, arfadas, contracción bronquial e irritación das mucosas (Manahan, 2007). Tamén ataca os materiais de

caucho, producindo que fendan e teñan un aspecto envellecido.

A exposición repetida ao ozono pode ocasionar lesións permanentes nos pulmóns, en especial en nenos. Pode ocasionar danos xenéticos e reprodutivos, así como aumentar o risco de lesións en fetos en desenvolvemento. Tamén pode agravar enfermidades pulmonares crónicas, coma o enfisema e a bronquite, e reducir a capacidade do sistema inmunitario para combater as infeccións do aparato respiratorio. Pode agravar a asma e as doenzas cardíacas, reducir a capacidade pulmonar e producir acumulación de líquido nos pulmóns (Tox Town, d).

- **Smog fotoquímico ou oxidante**

Consiste nun fenómeno contaminante local e urbano, caracterizado pola elevada concentración de oxidantes, coma o ozono troposférico. Foi observado por primeira vez en Los Ángeles en 1944 (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004).

Os tres ingredientes necesarios para formar o *smog* fotoquímico son a luz ultravioleta, os hidrocarburos e os óxidos de nitróxeno. O Sol proporciona a enerxía luminosa, e os outros dous ingredientes achéganos principalmente os motores dos vehículos. Algúns hidrocarburos tamén son emitidos por vexetais, coma os terpenos emitidos por árbores de pino e cítricos. Os hidrocarburos producen numerosas reaccións químicas na atmosfera, o que dá lugar a gran cantidade de contaminantes secundarios, así como a intermediarios e diversas partículas en suspensión (Manahan, 2007).

Os seus efectos danse tanto na saúde humana e animal, coma en materiais, na atmosfera e en vexetais. Aos efectos adversos producidos polo ozono (explicados anteriormente) hai que lles sumar os doutros elementos que se forman neste contexto, coma os aldehidos e nitratos de peroxiacetilo, que irritan os ollos. Nas plantas poden reducir a fotosíntese, así como danar os seus tecidos, feito polo que algunhas son utilizadas como bioindicadores.

- **Smog sulfuroso ou redutor**

Caracterízase por contidos altos de SO₂ e materia particulada. Destaca o episodio deste tipo de *smog* ocorrido en Londres en 1952, no que os contaminantes característicos acadaron altas concentracións, en gran parte debido a un proceso de inversión térmica, o que propiciou a morte de 4000 persoas. Este tipo de *smog* dáse en lugares onde se emprega o carbón como fonte de enerxía, polo que actualmente non é moi común en países desenvolvidos (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004).

- **Destrucción da capa de ozono**

O ozono na estratosfera realiza unha función protectora vital porque serve como escudo fronte á radiación ultravioleta. De non ser así, as formas de vida da terra sufrirían danos. O cloro e o bromo, xunto cos óxidos de nitróxeno, son os principais destrutores do ozono. Os maiores culpables da destrución da capa de ozono son os CFC, xa que se elevan ata a estratosfera, e alí as altas radiacións ultravioletas promoven reaccións fotoquímicas que liberan átomos de cloro, que á súa vez reaccionan co O₃, formando radicais ClO e O₂. Estes radicais reaccionan entre si e con outros elementos presentes na estratosfera, para remataren liberando outra vez átomos de cloro, o que implica que cada átomo de cloro pode chegar a destruír varios miles de moléculas de ozono.

O aumento da intensidade da radiación ultravioleta ao nivel do chan implicarían graves danos no planeta, xa que destruíría gran cantidade de formas de vida que son a base da cadea alimentaria. En humanos, os principais prexuízos serían o cancro de pel e as cataratas (Manahan, 2007).

- **Efecto invernadoiro**

Explicado no apartado [2.3.1.5.2](#).

2.3.1.6.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

Certas plantas teñen a capacidade para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar ou estabilizar contaminantes presentes no chan, no aire, na auga ou

no sedimento, tales como: metais pesados, metais radioactivos, compostos orgánicos e compostos derivados do petróleo (Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011).

Por tanto, os sistemas vexetais verticais, ao estaren formados por plantas, poden ter as mesmas capacidades, aínda que con certas singularidades. As funcións descontaminadoras dos sistemas vexetais verticais maniféstanse por diversas vías: absorbendo os contaminantes do substrato a través das raíces das plantas (fitoextracción); mediante as complexas reaccións que se dan na rizosfera entre as plantas, os microorganismos e os elementos do substrato; absorbendo os contaminantes por vía aérea; ou mesmo mediante a acción específica do substrato. Outra maneira é retendo os contaminantes sobre as follas.

- Unha vía pola que as plantas actúan é mediante a absorción de contaminantes a través das súas raíces. Os contaminantes elementais son en esencia inmutables por procesos biolóxicos ou físicos (excepto as reaccións de fusión e fisión nucleares). Por tanto, a maneira que teñen as plantas de descontaminar o solo de contaminantes elementais como catións ou oxianións é desta forma (Meagher, 2000). Máis alá da captación de contaminantes, as plantas en crecemento teñen sistemas de encimas que poden degradar **contaminantes orgánicos**. Algúns contaminantes quedan acumulados nos tecidos sen seren degradados (Manahan, 2007), polo que esa biomasa necesitaría ser procesada para que eses contaminantes non se liberen unha vez que se descompoñan os tecidos vexetais. Con todo, mentres estes contaminantes estean retidos na biomasa, non están producindo danos noutro lugar. Desta forma son absorbidos gran parte dos **metais pesados**. Por exemplo, a planta da mostaza da india (*Brassica juncea*) pode acumular nas súas raíces Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} e Sr^{2+} , acadando unhas concentracións 500 veces maiores que o líquido no que a planta medra; nas raíces dos xirasois acadáronse unhas concentracións de uranio 30 000 veces maiores; e a planta do tabaco reduciu a concentración inicial de Hg^{2+} (1-5 ppm) nun medio acuoso unhas 100 veces en cuestión de horas. Con todo, en

substratos sólidos estas eficiencias serían menores ca nos líquidos onde se puxeron a proba (Meagher, 2000). Algúns metais como o Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn son elementos necesarios para o normal crecemento e desenvolvemento das plantas, mais outros, como As, Cd, Hg, Pb ou Se, non o son. Existen especies máis tolerantes ca outras a solos con metais pesados, mais dentro das especies tolerantes, hai un tipo plantas chamadas hiperacumuladoras que se caracterizan por que, ademais de sobreviviren neste tipo de solos, toman grandes cantidades de metais pesados e distribúenos polos seus tecidos (non só nas raíces), probablemente co fin de se protexeren fronte aos herbívoros. Estas especies son moi utilizadas en fitorremediación (eliminar contaminantes do medio empregando plantas) e incluso fitominería (recuperar minerais mediante as plantas) (Rascio & Navari-Izzo, 2011). Metais como Ag^1 , AsO_3^{3-} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , e Ni^{2+} son retidos polo xofre orgánico presente nas moléculas das proteínas metalotioneínas e dos péptidos fitoquelatinas e transportados os vacúolos das células vexetais para seren retidos a longo prazo. Plantas como o *Alyssum lesbiacum* son capaces de acumular Ni^{2+} en tales cantidades que pode acadar máis do 3% do peso da súa parte aérea (Meagher, 2000).

Os vexetais, ademais de acumularen os metais pesados, pódenos transformar a formas menos tóxicas. No caso do cromo, as plantas son capaces de reduciren compostos de Cr^{6+} , que teñen alto poder contaminante, a Cr^{3+} , menos prexudiciais (Chaney et al., 1997). No caso do ferro, plantas do xénero *Arabidopsis* reducen os compostos de ferro Fe^{3+} noutros menos contaminantes coma os de Fe^{2+} (Meagher, 2000). Canto ao chumbo, un estudo demostrou que a acción da planta herbácea *Agrostis capillaris* fomentou a formación piromorfita (mineral que contén chumbo, mais dunha maneira menos prexudicial ca outros compostos do chumbo presentes no solo) en solos contaminados de chumbo e zinc (Cotter-Howells & Caporn, 1996), aínda que este tipo de reaccións son provocadas polas relacións que se dan na rizosfera.

- A rizosfera é a parte do solo inmediata ás raíces e que está baixo a súa influencia (April & Keller, 1990), onde se concentran gran cantidade de

organismos. Esta concentración é tal que normalmente hai de 5 a 20 veces máis microorganismos neste lugar ca no resto do solo, e mesmo pode chegar a haber 100 veces máis. Esta abundancia é a responsable da maior degradación de elementos xenobióticos na rizosfera (Anderson, Guthrie, & Walton, 1993).

A interacción entre plantas e microorganismos é tal que as plantas utilizan as súas segregacións para favoreceren os microorganismos que sexan do seu interese. En función da presenza dun tipo concreto de contaminante do que a planta necesite protexerse, esta favorecerá coas súas segregacións unha comunidade concreta de microorganismos que degraden ese contaminante e a axuden a se protexer. Isto despréndese do comportamento da cana de azucre fronte a un tipo herbicida (Sandmann & Loos, 1984).

O pH do substrato afecta aos procesos para o ingreso dos metais nas plantas, mais a actividade das raíces afecta á biodispoñibilidade deses metais ao modificar o pH na rizosfera. As plantas exsudan ácidos orgánicos, o que fai que o pH da rizosfera baixe, polo que certos metais se fan solubles e desta forma aumenta a capacidade das plantas para os poderen absorber (SAG). Outros parámetros, coma a concentración de osíxeno, os contidos de humidade, a presenza de elementos redutores-oxidantes... tamén se ven influenciados pola presenza das plantas (Anderson et al., 1993).

Na rizosfera danse as chamadas micorrizas, que definen a simbiose entre un fungo e as raíces dunha planta. Estes fungos crean un entramado de hifas (estrutura filamentosa propia dos fungos) que se asocian á súa vez con certas bacterias, que se desprazan por estes filamentos coma se dunha rede de estradas se tratase (Ibáñez, 2013). Mais non só se desprazan por elas as bacterias, senón que moléculas de **hidrocarburos aromáticos policíclicos** tamén poden ser transportadas por estas vías. Isto implica que as hifas dos fungos poden por en contacto de forma máis doada os HAP coas bacterias consumidoras destes contaminantes, elementos que normalmente se

atopan separados, pois as bacterias atópanse normalmente en auga, e os PAH son practicamente indisolubles en auga e tenden a se acumularen en partículas dentro dos poros de aire (Furuno et al., 2012).

Todos estes exemplos serven para comprendermos a complexidade e a importancia da rizosfera para eliminar contaminantes. A importancia da absorción dalgúns contaminantes pola rizosfera sobre outras vías como a aérea viuse clara en certos experimentos con plantas en cámaras pechadas realizados pola NASA. Nestes experimentos mostrábase que as plantas eliminaban máis **benceno** co solo descuberto ca co solo cuberto de grava. Igualmente observouse que plantas coa follaxe cortada absorbían máis benceno ca esa mesma planta con toda a follaxe (Wolverton, Douglas, & Bounds, 1989). Con todo, en estudos posteriores decatáronse de que isto só ocorría cando esa follaxe cubría o solo reducindo o contacto do aire da cámara coa superficie deste (Wolverton, Johnson, & Bounds, 1989). Noutro estudo con plantas en cámaras pechadas mostrouse que a relación entre a absorción de formaldehído pola parte aérea das plantas probadas e a parte soterrada era de 1:1 durante o día, mais pola noite a parte do solo absorbía 11 veces máis ca a parte aérea. Calculouse que desa absorción pola parte das raíces, un 90% era debida á rizosfera e un 10% ao substrato (Kim et al., 2008). As plantas extraen o tricloroetileno (TCE), unha parte transpíranas e outra exsúdanas polas raíces alimentando as bacterias biodegradantes da rizosfera (Meagher, 2000).

- Outra vía para a captación de contaminantes por parte das plantas é a aérea, a través dos estomas e, en menor medida, da cutícula. Os estomas son os orificios que as plantas teñen para realizaren o intercambio gaseoso co medio. A planta pode regular a apertura destes orificios en función das súas necesidades. Durante a realización da fotosíntese os estomas están máis abertos para poderen captar maior cantidade de dióxido de carbono, podendo absorber tamén maiores cantidades de contaminantes (Hernández Cortés, 2013). Ao aumentar a produción de osíxeno e a absorción de CO₂ (ao incrementar a temperatura e a luz) aumenta a participación das follas na absorción de

COVs (Wolverton, Johnson, et al., 1989). Os contaminantes que se absorben desta forma poden intervir nos procesos vitais da planta, como o formaldehído, o benceno ou o tolueno, que entran no ciclo de fixación de carbono das plantas, polo que as súas moléculas son metabolizadas noutros compostos (Kim et al., 2008).

Da mesma maneira, as plantas poden metabolizar o dióxido de xofre incorporado en forma gaseosa a través dos estomas. Porén, unha exposición prolongada (máis de 8 horas) a altas concentracións (máis de 0,3 ppm) provoca un gran dano nos tecidos, debido á formación de ácido sulfúrico (Taiz & Zeiger, 2006).

Outro elemento que demostrou ser absorbido en gran parte por esta vía é o NO_2 . En experimentos con plantas en macetas dentro de cámaras estancas observouse que en dúas horas, na cámara na que se dispuxo a planta co substrato cuberto por papel de aluminio, o NO_2 foi absorbido nun 85%, pouco menos que o 96% absorbido pola mesma especie de planta co solo exposto (aínda que hai que ter en conta que debido á inestabilidade do NO_2 , na cámara baleira que se usou de control o NO_2 foi absorbido nun 56%) (Wolverton & McDonald, 1985).

- En estudos deste tipo tamén se demostrou a capacidade do solo para captar contaminantes do medio, nos que na cámara con só a maceta con substrato os contaminantes foron absorbidos un 15% e 8% máis que a cámara de control baleira, no caso do benceno e do tricloroetileno respectivamente (Wolverton, Johnson, et al., 1989).

Por tanto, queda clara a capacidade de captación, e nalgúns casos eliminación, de contaminantes por parte das plantas. Algúns non poden ser metabolizados, coma moitos metais pesados e compostos orgánicos persistentes, mais tamén absorben gran cantidade de contaminantes como compostos orgánicos volátiles coma o benceno e o tolueno; e semivolátiles coma o antraceno, podendo captalos e transformalos en elementos menos tóxicos, ou biodegradalos en elementos necesarios para a planta, dióxido de carbono ou auga (Orwell, Wood, Tarran, Torpy, & Burchett, 2004).

Mais esta capacidade de captación e descontaminación depende do tipo de planta e do contaminante concreto, pois unhas son máis aptas ca outras para captaren uns ou outros contaminantes. Para optimizar a captación de contaminantes por parte das plantas, requírense ter grandes coñecementos sobre elas. O que si podemos concluír é que, debido á gran importancia da rizosfera na función descontaminadora, así como á do solo mesmo, os sistemas hidropónicos teñen unha menor capacidade para eliminar contaminantes. Nestes sistemas, hai unha menor riqueza de elementos no contorno das raíces, e está moi orientada ás necesidades das plantas, polo que non se dá a gran variedade de microorganismos característica da rizosfera que axudaban á descontaminación.

Algúns exemplos da capacidade das plantas para eliminaren contaminantes móstranse a continuación:

	Formaldehido			Benceno			Tricloroetileno		
	ppm inicial	ppm final	%	ppm inicial	ppm final	%	ppm inicial	ppm final	%
<i>Dracaena massangeana</i>	20	6	70	14	11	21,4	16	14	12,5
<i>Chrysanthemum morifolium</i>	18	7	61	58	27	53	17	10	41,2
<i>Gerbera jamesonii</i>	16	8	50	55	21	67,7	20	13	35
<i>Dracaena deremensis</i>	8	4	50	27	13	52	20	18	10
<i>Ficus benamina</i>	19	10	47,4	20	14	30	19	17	20,5
Control	18	17,5	2,8	20	19	5	20	18	10

Táboa 2: Reducións de certos COV ante a presenza de certas especies de plantas en experimentos en cámaras, en exposicións de 24 h (adaptación de Wolverton, Johnson, et al., 1989)

	Concentración en ppm			
	0 h	2 h	6 h	24 h
CO				
Cámara baleira	110		110	107
Maceta só con substrato	125		115	107
<i>Scindapsus aureus</i>	113		84	28
<i>Chlorophytum elatum</i>	128	98	68	<5
NO₂				
Cámara baleira	43	19	16	8
Maceta só con substrato	44	8	2	1
<i>Chlorophytum elatum</i> (co solo exposto)	49	2	<0,5	<0,5
<i>Chlorophytum elatum</i> (co solo cuberto)	47	7	<0,5	<0,5

Táboa 3: Presenza de monóxido de carbono e de dióxido de nitróxeno en experimentos en cámaras (baleiras, con maceta e substrato, ou con maceta, substrato e planta) en función do tempo (fonte: Wolverton & McDonald, 1985)

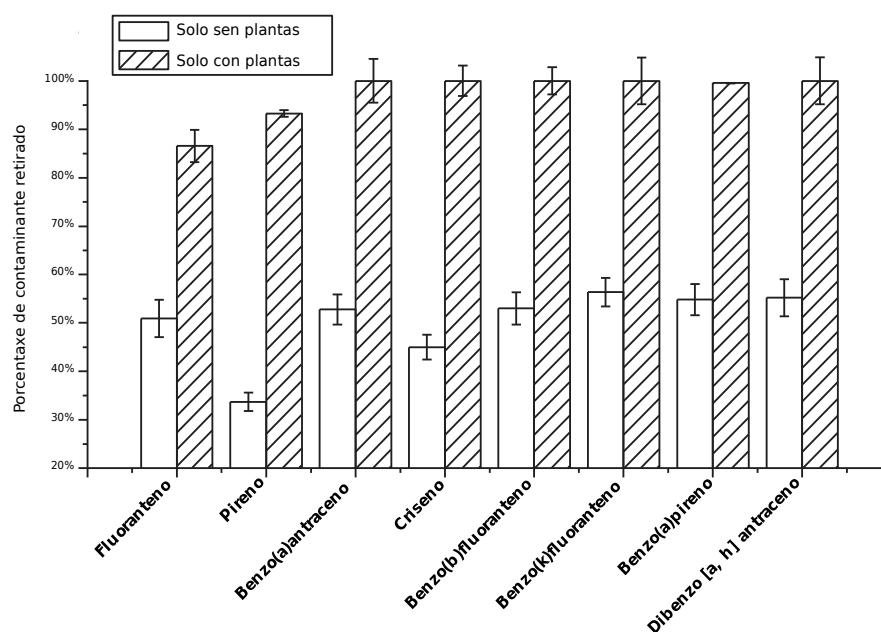


Gráfico 12: Eliminación de certos HAP en 150 días en experimentos en cámaras, comparando macetas con substrato con macetas con certas especies de gramíneas chamadas "fire phoenix", como a *Festuca arundinacea*, *Festuca elata* Keng e *Festuca gigantea*. Conseguiu eliminarse neses 150 días o 99,40% do total dos HAPs probados. (fonte: Liu, Xiao, Wei, Zhao, & An, 2014)

- Existe outra vía pola que as plantas captan contaminantes, que é a retención de partículas na súa parte aérea. As plantas tamén teñen a capacidade de reduciren a materia particulada do aire, xa que semella

que as follas emiten ións negativos que atraen as partículas en suspensión (Wolverton, 2009). Neste caso, os contaminantes sofren ningún tipo de cambio químico, senón que simplemente son retirados do aire.

Nun estudo que compara a captación por parte da hedra (*hedera helix*) preto dunha estrada con outra planta situada no bosque (Ottelé, van Bohemen, & Fraaij, 2010), os elementos máis abundantes retirados polas follas foron Ca, Si e Fe. Con todo, na planta preto da estrada tamén se captaron gran parte de partículas de cinzas voantes e elementos como Ti, S, F, Al e Cu, así como partículas de aceiro inoxidable. As partículas PM_{2,5} proveñen case todas de fontes antropoxénicas, e nos medios urbanos o 80% desas partículas débense ao tráfico rodado. A fracción de 2.5–4 µm contén principalmente elementos relacionados co po mineral, formado de compoñentes do solo, tales como Si, Al e Fe.

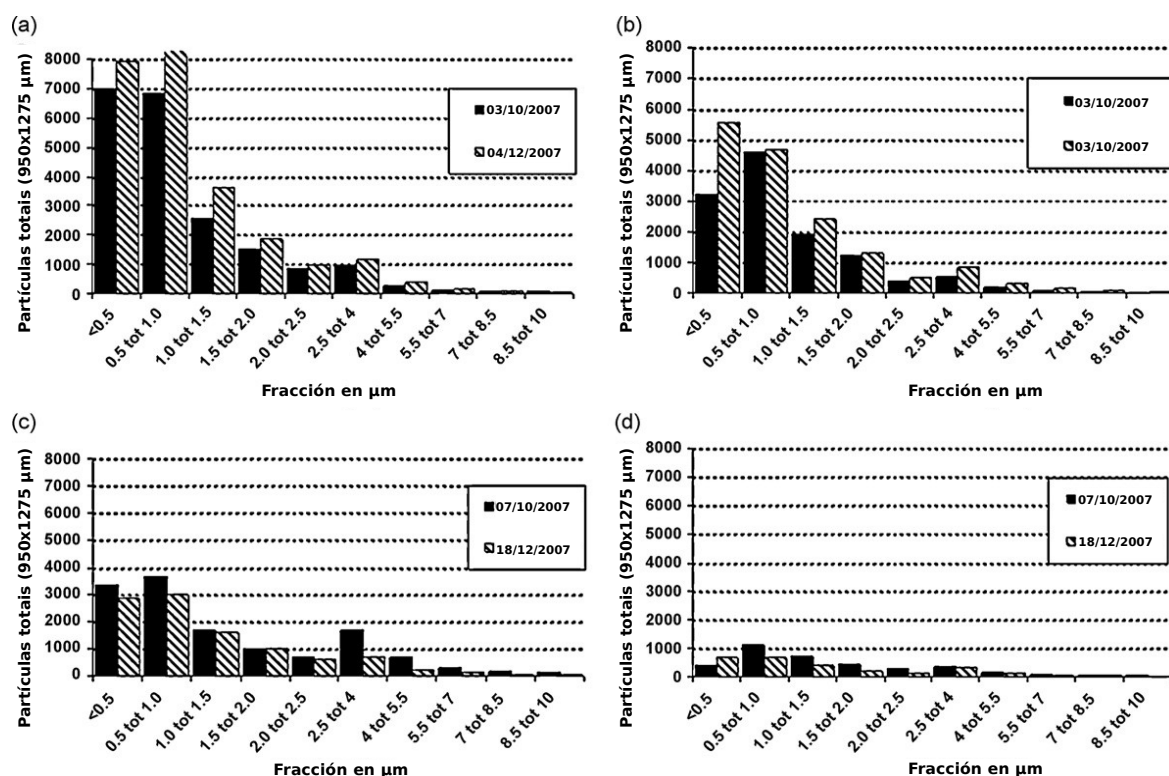


Gráfico 13: Cantidade de partículas retiradas polas follas de hedra. Na parte superior, da planta a carón da estrada, (a) polo anverso e (b) polo reverso da folla. Na parte inferior, da planta no monte, (c) polo anverso e (d) polo reverso da folla (fonte: (Ottelé et al., 2010))

Hai que ter en conta que, despois da deposición deses elementos sobre as follas, as partículas retiradas pódense desprender e volver ao aire

(aproximadamente o 50% delas (Mcpherson, Nowak, & Rowntree, 1994)), especialmente en tempo seco e ventoso.

2.3.1.7. MELLORAS DAS CONDICIÓNIS ACÚSTICAS

2.3.1.7.1. Introducción

A acústica é a parte da física que estuda as propiedades dos sons (RAG, 2012).

O son é un fenómeno físico que se produce cando as vibracións dun corpo se transmiten a través dun medio ata chegaren ao oído humano. Por tanto, necesita tres elementos indispensables: o emisor, o medio de transmisión, e o receptor. A diferenza da luz, as ondas do son non se propagan polo baleiro.

Cando unha onda acústica atravesa diferentes medios de propagación, parte da enerxía volve ao medio de orixe, e parte transmítese ao medio de destino. Ademais parte será absorbida na fronteira dos dous medios.

Cando unha onda sonora incide sobre unha superficie (o suficientemente grande comparada coa súa lonxitude de onda), parte desa onda é reflectida. O ángulo de reflexión é igual ao ángulo de incidencia, aínda que a intensidade desta é menor, xa que parte desa enerxía é transmitida ao medio e parte é absorbida na superficie de impacto. A relación entre a enerxía reflectida e a enerxía incidente denomínase coeficiente de **reflexión**.

Parte da enerxía desa onda ao incidir sobre unha superficie pérdese, xa que se transforma en calor no material sobre o que incide. Esta acción dáse en maior ou menor medida en todos os materiais. A relación entre a enerxía absorbida e a incidente denomínase coeficiente de **absorción**. Por tanto, os materiais con alto coeficiente deste tipo denomínanse absorbentes. Este coeficiente varía coa frecuencia, polo que os valores de absorción dos distintos materiais empregados na construción veñen especificados a distintas frecuencias.

Outra parte da enerxía transmítese ao medio de destino, experimentando un cambio de dirección chamado refracción, o que fai que o ángulo de refracción sexa distinto ao de incidencia. Esta desviación das ondas sonoras débese ao cambio de velocidade de propagación nos distintos medios de transmisión. A relación entre a enerxía transmitida e a incidente denomínase coeficiente de

transmisión.

Existe outro fenómeno chamado difracción, que é un efecto de dispersión que se produce ante determinados obstáculos ou aperturas. En vez de seguir a onda sonora a dirección normal, ao chegar a estes obstáculos dispérsase, converténdose nun novo punto de emisión sonora.

Un obxecto só representa un obstáculo cando o seu tamaño é igual ou superior á lonxitude de onda sonora, xa que de non ser así, a onda rodea o obxecto e segue a se propagar coma se ese obxecto non existise (Esteller, 2012). Tendo en conta o rango de frecuencias audíbles polos seres humanos, que vai de 20 Hz a 20 kHz, e a velocidade do son no aire, 343 m/s (a 20 °C de temperatura, con 50 % de humidade e ao nivel do mar (Colaboradores de Wikipedia, 2015)), resulta que as lonxitudes das ondas sonoras audíbles polos humanos a través do aire van desde 17,15 m a 1,7 cm. Isto implica que a baixas frecuencias (longas lonxitudes de onda) é máis complicado obstaculizar o paso das ondas.

Na acústica, normalmente non se utilizan directamente as magnitudes lineais do sistema internacional, senón que se utiliza unha unidade logarítmica, os decibelios. Isto é debido a que, por unha banda, cos decibelios manéxanse cantidades numéricas máis sinxelas e, por outra, a resposta aos estímulos do sistema auditivo humano faise de maneira logarítmica, xa que se a presión acústica dun ton se multiplica por dez, a sensación percibida é de que é o dobre (Esteller, 2012).

Canto á acústica na edificación, existen numerosas normativas para tratar de paliar os efectos negativos dos sons.

Segundo as normas *UNE-EN 12354 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos*, os elementos que cómpre ter en conta son o illamento acústico do ruído aéreo entre recintos, o illamento acústico ao ruído de impactos entre recintos, o illamento acústico ao ruído aéreo contra o ruído do exterior, a transmisión do ruído interior ao exterior, os niveis sonoros producidos polos equipamentos en edificacións, e a absorción sonora en espazos pechados.

As esixencias do Documento Básico HR - Protección frente al ruido (2009) do

Código Técnico da Edificación céntranse no illamento acústico ao ruído aéreo e ao ruído de impacto, aos tempos de reverberación e ao ruído e vibracións das instalacións.

2.3.1.7.2. Efectos adversos

Se ben o son non ten por que ser molesto, o seu exceso pode provocar molestias. Cando o son ten efectos prexudiciais, utilízanse términos como ruído ou contaminación acústica.

O ruído é unha mistura complexa de sons con frecuencias fundamentais diferentes. En sentido amplo, considérase ruído calquera son que interfira nunha actividade humana («Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81 sobre las condiciones acústicas de los edificios», 1981).

A contaminación acústica defínese como a presenza no ambiente de ruídos ou vibracións, calquera que sexa o emisor acústico que os orixine, que impliquen molestia, risco ou dano para as persoas, para o desenvolvemento das súas actividades ou para os bens de calquera natureza, ou que causen efectos significativos sobre o medio ambiente («Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído», 2003).

O efecto do ruído pode afectar a gran parte do organismo humano. Actúa sobre a audición, o sistema respiratorio, o sistema dixestivo, o sistema neurovexetativo, e o sistema circulatorio. Mais se entendemos a saúde non só como ausencia de enfermidade, senón tamén como sinónimo de benestar físico e psíquico, hai que lles sumar a estes efectos outros que se deben avaliar en función da personalidade, da sensibilidade ao ruído e do estado emocional e psíquico. Tamén interfere na fala, no sono, no procesos cognitivos, e incluso pode potenciar outras doenzas, coma o estrés (MSSSI, 2012).

Existen diversas fontes xeradoras de ruído nos medios urbanos, como obras, a actividade humana, a actividade industrial, as actividades lúdicas etc., mais destaca o ruído do tráfico. No ano 2000, máis do 44% da poboación da Unión Europea está exposta a niveis de ruído, debidos ao tráfico, superiores a 55 dB (den Boer & Schroten, 2007). Considérase como perigosa para a saúde a

exposición a sons que oscilen entre 50 e 60 decibelios, e como moi nociva a partir dos 60 dB (Ormaechea Alegre).

2.3.1.7.3. Melloras que achegarían os sistemas vexetais verticais

Moitos dos absorbentes sonoros utilizados na construción son materiais porosos (materias absorbentes de estrutura alveolar, granular, fibrosa etc., que actúan degradando a enerxía mecánica en calor, mediante o rozamento do aire coas superficies do material («Documento Básico HR - Protección frente al ruido», 2009)), ou membranas de materias flexibles que absorben parte da enerxía das ondas sonoras debido á deformación do material ao vibrar. Esta vibración depende da frecuencia do son, que é máxima cando coincide coa frecuencia de resonancia do material. Tamén se utilizan elementos perforados que deixan cavidades de aire entre eles e os paramentos, onde o son perde enerxía (Isbert Carrión, 1998). Estas condicións (elementos porosos, flexibles, cavidades de aire...) danse nos sistemas vexetais.

As melloras que achegan os sistemas vexetais canto á acústica baséanse na súa capacidade como absorbentes dos ruídos, así como na dispersión por difracción destes, debidos ao medio de cultivo e ás propias plantas.

A porosidade da superficie do solo permítelle ao son penetrar e ser á vez absorbido, debido á fricción e aos intercambios térmicos (Attenborough, 2001). Así mesmo, debido á rugosidade superficial do substrato, o son tamén é atenuado e dispersado (Attenborough, Boulanger, Qin, & Linton, 2005). A presenza de vexetación contribúe na porosidade e na capacidade de suavizar os sons do solo, debido ao enraizamento e ás capas de follas que se desprenden delas (Van Renterghem, Botteldooren, & Verheyen, 2012), aínda que isto último dáse en menor medida nos sistemas vexetais verticais.

A absorción pódese atribuír tamén as vibracións mecánicas dos elementos das plantas causadas polas ondas sonoras, convertendo parte da enerxía sonora en calor. Tamén existe unha certa contribución á atenuación por efectos da capa termo-viscosa da vexetación. O son tamén pode ser dispersado por difracción debido a eses elementos, tales como ramas e follas (Van Renterghem, Botteldooren, & Verheyen, 2012). Esta absorción e dispersión por parte das follas contribúe á atenuación do son, especialmente por riba de 1kHz

(Yang, Kang, & Cheal, 2013).

Existen numerosos estudos sobre a capacidade dos vexetais para reduciren os ruídos. Por exemplo, son habituais reducións dos niveis de son con faixas de árbores e arbustos da orde de 5 a 8 dB, sen seren raras reducións de ata 10 dB (Cook, Service, & Haverbeke, 2004). Reducións de 8-9 dB nunha faixa arborada con bidueiros, olmos, faias e outras coníferas, respecto á contorna con só herba (Kragh, 1979). A combinación dun terraplén e plantas pode reducir o son de 6 a 15 dB (The University of Tennessee Agricultural Extension Service, 1998). Canto a outras envolventes vexetais, coma as cubertas axardinadas, medíronse perdas de son de entre 5dB a 20 dB, respecto a cubertas sen vexetar (Lagström), e coeficientes de redución de ruído de 0,2 a 0,63 noutras cubertas axardinadas (Connelly & Hodgson, 2015).

Os sistemas vexetais verticais, ao disporen tamén dos elementos principais, como son o substrato (aínda que non sempre) e os propios vexetais, tamén atesouran estas propiedades acústicas.

Experimentos realizados neste senso con sistemas vexetais verticais mostran perdas de son (debido á inserción de ata 8 sistemas vexetais verticais distintos respecto a un muro de control, medidas en función das diferenzas de niveis de presión sonora) máis altas a baixas e medias frecuencias debidas ao substrato, e unha menor atenuación do son a altas frecuencias debidas á dispersión da vexetación. No gráfico 14 móstranse algúns dos datos obtidos (Wong, Kwang Tan, Tan, Chiang, & Wong, 2010).

Se ben no módulo 2, 7 e 8 (no que se acada a máxima perda de son, de 9,9 dB que corresponden a 800 Hz) se observan boas absorcións de son respecto ao muro de control, o módulo 3 (no que a capa de substrato era algo máis estreita respecto á media e existen algunhas zonas sen vexetación) mostra peores valores ca o muro espido. Non se mostran os valores respecto a frecuencias menores de 87,5 Hz, debido a que a frecuencias menores ca esas, a lonxitude de onda do son é maior ca o ancho dos módulos (4m), polo que debido á difracción estes non suporían un obstáculo (Wong et al., 2010).

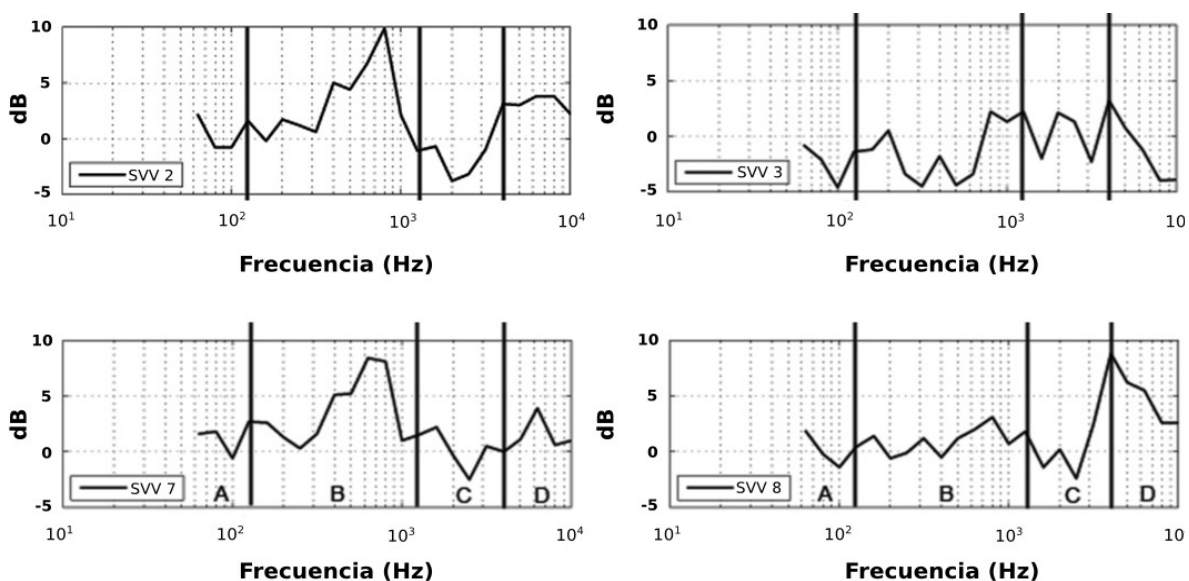


Gráfico 14: Absorción do son por parte dalgúns dos módulos con sistemas vexetais verticais analizados (concretamente o 2,3,7 e 8) respecto ao módulo de control sen vexetación (fonte: Wong et al., 2010).

Comparando os sistemas vexetais verticais con outros sistemas, canto ao illamento acústico do ruído aéreo entre recintos, en estudos onde se mide a capacidade illante dun elemento interposto entre dous habitáculos, os resultados do sistema vexetal vertical son máis ben deficientes, cun índice de redución acústica ponderado de 15 dB (0,4 de coeficiente ponderado de absorción), acadando os seus competidores uns índices de 30 dB, 44 dB e 51dB (ver gráfico 15) (Azkorra et al., 2015).

Con todo, cómpre ter en conta que a masa do sistema vertical vexetal utilizado (50 kg/m^2) era moito menor ca a doutras solucións coma a de ladrillo (200 kg/m^2) ou bloque (280 kg/m^2), así como que a o sistema vexetal, ao estar feito por pezas modulares, presentaba xuntas que interrompían a súa continuidade (Azkorra et al., 2015).

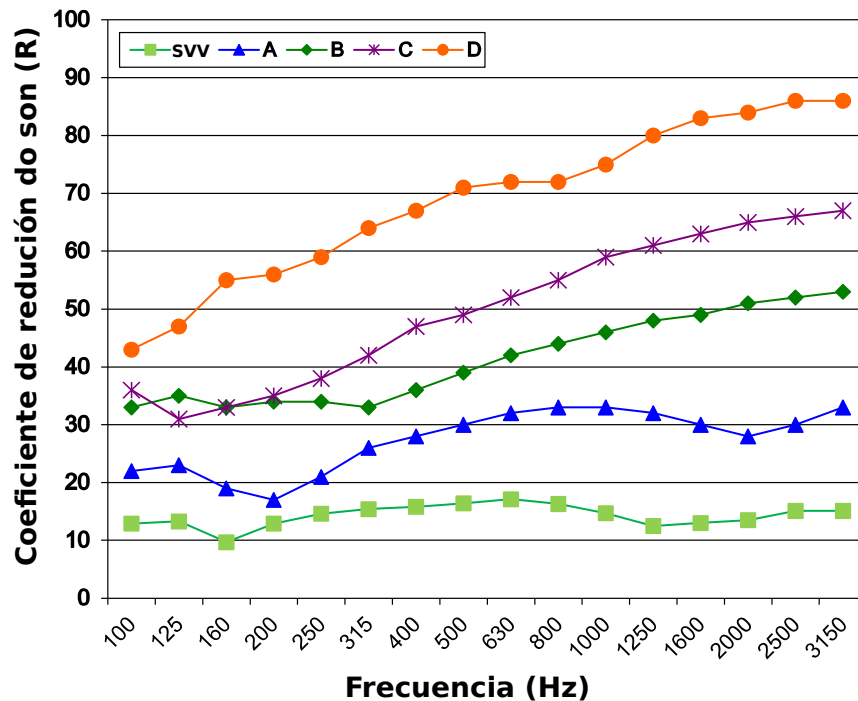


Gráfico 15: Coeficiente de redución sonora (segundo UNE-EN ISO 10140-2) dun sistema vexetal vertical (svv), un encristalamento dobre 6-12-6 (A), un tabicón de ladrillo de espesor 10 cm sen acabado (B), partición de bloque revestido con xeso de 21 cm (C), e un tabique de dúas follas de cartón-xeso, con illante de lá mineral entre elas (D)(fonte: Azkorra et al., 2015)

En estudos en cámaras de reverberación, os sistemas vexetais verticais si amosaron uns bos resultados. Comparado con paredes de ladrillo, bloque ou vidro, os valores de absorción dos sistemas vexetais verticais foron dos máis altos, acadando coeficientes de absorción superiores ao 50%. Tamén se obtiveron reducións de tempos de reverberación significativas, especialmente en frecuencias entre 1 e 200 Hz, reducións directamente proporcionais á área cuberta polas plantas (Wong et al., 2010). Comparándoos xa con todo tipo de elementos, incluídos algúns usados en acondicionamento acústico, os sistemas vexetais verticais acadan bos resultados, mais xa non dos mellores, como se mostra no gráfico 16 (Azkorra et al., 2015).

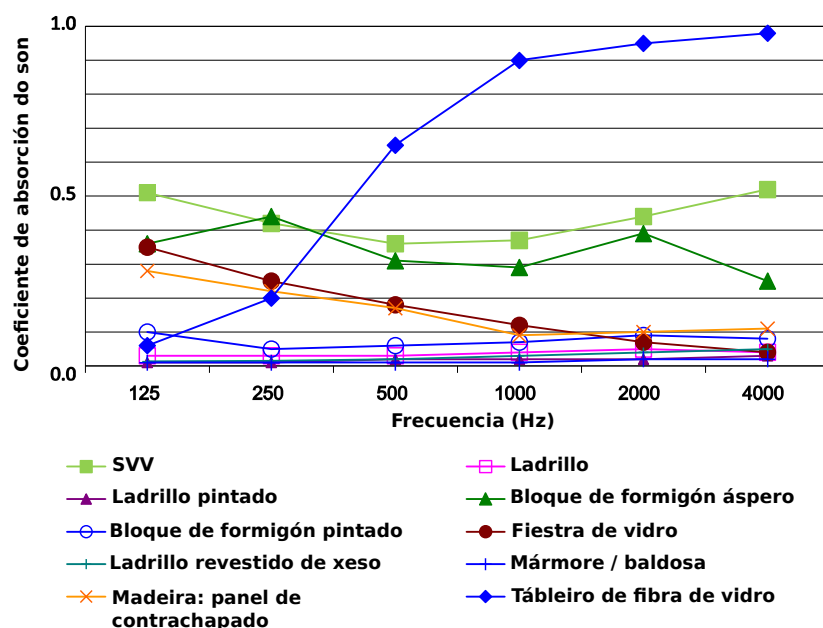


Gráfico 16: Comparativa dos valores de absorción sonora do sistema vexetal vertical con outros elementos utilizados na construción (fonte: Azkorra et al., 2015)

Canto ao comportamento acústico dos sistemas sen substrato, non localizamos estudos específicos referente a eles. Con todo, debido á importancia do substrato nas capacidades do sistema, deducimos que o seu comportamento acústico é inferior, especialmente nos sons máis graves, os de maiores lonxitudes de onda.

2.3.1.8. OUTRAS VANTAXES

2.3.1.8.1. Mellora da estética

A RAE define a estética como harmonía e aparencia agradable á vista, que ten alguén ou algo desde o punto de vista de beleza (RAE, 2012). O beneficio máis obvio que se pode obter dos sistemas vexetais verticais é a mellora visual que achegan. Tamén existe a vantaxe de que poden producir unha ampla variedade de aromas naturais (Johnston & Newton, 2004). Se ben é un concepto relativo, é unha das vantaxes máis destacadas polos subministradores deste tipo de sistemas.

Un estudo recolle que a posibilidade de observar elementos naturais como vexetais a través das fiestras contribúe á satisfacción dos residentes e á sensación de benestar (Kaplan, 2001)

As plantas, neste senso, permiten un amplo abano de posibilidades. Pódense dispor seguindo patróns en función da súa cor, usando diferentes tons para crear un ambiente alegre e colorido, utilizar especies que atraian bolboretas etc., sempre e cando as condicións do clima, do solo e de luminosidade o permitan (Vilaça, 2005).

Por tanto, a vexetación sobre os paramentos pode mellorar esteticamente un proxecto arquitectónico, e mellorar ou disimular elementos de pouco valor estético debido a imperfeccións ou mal deseño, ou ben romper a monotonía ou a uniformidade, coma no caso de medianeiras.

2.3.1.8.2. Aspectos psicolóxicos

Se ben a presenza de vexetación inflúe na saúde, como por exemplo absorbendo contaminantes ou minimizando os ruídos, tamén se lles presupoñen certas melloras nos aspectos psicolóxicos das persoas.

A presenza de plantas parece influír na capacidade de atención (Raanaas, Evensen, Rich, Sjøstrøm, & Patil, 2011), reduce a sensación de estrés (Dijkstra, Pieterse, & Pruyn, 2008), e mellora a produtividade e os tempos de reacción (Dover, 2015).

Con todo, semella ser que algúns dos resultados das plantas respecto aos beneficios psicolóxicos son confusos ou están supeditados ás características das persoas e do contexto (Bringslimark, Hartig, & Patil, 2009).

2.3.1.8.3. Fomento da biodiversidade

As envolventes vexetais constitúen un hábitat, ademais de para as propias plantas, para diversos tipos de animais, como insectos, aves e incluso pequenos mamíferos.

Existe gran cantidade de documentación sobre a capacidade das cubertas axardinadas para sustentar numerosos tipos de arañas, avésporas, abellas, formigas, aves etc. (Francis & Lorimer, 2011), así como especies vexetais, aínda que esta capacidade depende en gran parte da profundidade do substrato (Madre, Vergnes, Machon, & Clergeau, 2014).

Canto aos sistemas vexetais verticais, tamén se analizou a súa capacidade

para fomentaren a biodiversidade. Ao comparar un sistema deste tipo cun muro espido, comprobouse que contiñan de 16 a 39 veces máis artrópodos por metro cadrado (Matt, 2012). Dentro dos sistemas vexetais verticais, a maior abundancia de escaravellos e arañas deuse nos sistemas con substrato (Madre, Clergeau, Machon, & Vergnes, 2015).

Certas especies que non se dispersen con facilidade teñen menos posibilidades de se beneficiaren das envolventes vexetais, a non ser que se introduzan deliberadamente. Do mesmo xeito, moitos dos substratos utilizados en envolventes vexetais non teñen a profundidade suficiente para albergaren certas especies. Por exemplo, as miñocas de terra xa teñen problemas para sobreviviren en cubertas axardinadas con substratos menores de 12 cm (Francis & Lorimer, 2011), polo que en certas envolventes verticais poderían ter aínda máis problemas.

Hai que ter en conta que esta biodiversidade non sempre é benvida, especialmente en interiores, onde é habitual que se utilicen tratamentos de control de insectos. En exteriores, inquilinos habituais e pouco desexados dos sistemas vexetais verticais son os roedores, xa que poden proliferar no sistema, á vez que se lles facilita o acceso ao interior a través das fiestras.

2.3.1.8.4. Retención da auga de chuvia

O exceso de auga de chuvia (ou de desxeo), fai que esta discorra sobre a superficie do terreo, xa que o solo non é capaz de a absorber toda. Nas cidades, ao existir gran cantidade de superficies impermeables, a auga é recollida en menor medida polo solo ou por outros elementos permeables, polo que a maioría remata nos sistemas de sumidoiros.

Esta auga recolle gran cantidade de elementos, como sedimentos, praguicidas, fertilizantes, lixo etc., que rematan en lagoas, ríos ou no mar. Nos medios urbanos estas augas chegan a saturar os sistemas de recollida e tratamento de augas pluviais (Chadde). Pode provocar inundacións, erosión e deposición, así como a contaminación de acuíferos.

Neste senso, as envolventes vexetais achegan superficies permeables que poden a absorber a auga (e tamén contaminantes) e minimizar estes efectos,

especialmente aqueles sistemas que dispoñan de substrato. Existen numerosos estudos sobre a capacidade das cubertas vexetais para minimizaren a auga de escorras, aínda que algúns valoran esta capacidade como insuficiente (Czemiel Berndtsson, 2010). Canto aos sistemas vexetais verticais, a bibliografía é moito máis limitada. En moitas ocasións presupóñenselles vantaxes neste senso polo feito de seren sistemas semellantes ás cubertas vexetadas, mais ao adoitaren ter volumes moito menores de substrato, así como ao poder estar este disposto en vertical (o que reduciría a súa capacidade de reter auga), estas vantaxes semellan ser moito menores.

2.3.1.8.5. Producción de alimentos

A agricultura precisa grandes cantidades de superficie, que en España son de case 25 millóns de hectáreas (Instituto Nacional de Estadística, 2009), o que a veces implica a destrución de ecosistemas. Pola contra, as numerosas superficies verticais existentes nos medios urbanos están apenas sen utilizar.

Unha aplicación posible dos sistemas vexetais verticais é a de producir alimentos. Cara o 2030 estímase que 5000 millóns de persoas vivirán en cidades (UNFPA, 2007), polo que producir alimentos nos medios urbanos podería reducir moitos custes de transporte, tanto de produtos como de empregados. Neste senso, tería gran importancia os sistemas hidropónicos, xa que xa se están a utilizar para producir alimentos cunha alta produtividade.

Se ben se trata dunha solución máis de futuro que de presente, é unha opción que moita xente xa ten en consideración (Despommier, 2010; Kurasek, 2010).

2.3.1.8.6. Aspectos económicos

Os sistemas vexetais verticais achegan melloras no aspecto económico, como resultado de certas vantaxes anteriormente expostas, como poderían ser o aforro de sistemas de refrixeración (e en menor medida calefacción) debido ás súas propiedades térmicas. Outra mellora que achegan é a protección dos cerramentos fronte ao Sol, ao vento, a contaminantes e a variacións de temperaturas.

Mais existe outra vantaxe económica non tida en conta, que é a do aumento do valor da propiedade. Diversos estudos nesta liña aseguran que o valor da propiedade pode incrementarse en valores como 10,5% ou 3,9% sobre a propiedade, ou 1,4% 2,7% sobre os terreos da zona onde haxa sistemas deste tipo (Perini & Rosasco, 2013).

Tamén hai que ter en conta que este tipo de sistemas resultan moi atractivos hoxe en día, polo que poden servir como reclamo para visitantes que poidan acudir a observar sistemas deste tipo.

2.3.2. INCONVENIENTES

2.3.2.1. CUSTOS

- **Iniciais**

Os sistemas máis económicos canto a custes iniciais son os tradicionais de enredadeiras, xa que só a adquisición e instalación das plantas preto do paramento pode ser suficiente, o que ten un custo aproximado de 22 €/m (Perini & Rosasco, 2013), que pode variar moito en función da especie e da cantidade de plantas que se coloquen por metro, xa que, por exemplo, unha hedra non adoita custar máis de 5 €, mentres que unha buganvílea custa máis de 20 €. Se é necesaria a preparación do terreo os custes pódense incrementar de forma considerable (Precio Centro).

Canto aos sistemas de dobre pel, semellantes aos anteriores mais interpondo un entramado separado do paramento por onde medrarán as plantas, os custes iniciais respecto ás plantas son iguais ao sistema anterior, mais hai que lles sumar o prezo do entramado, estimando este prezo entre adquisición, transporte e instalación de 120 a 177 €/m² (Perini & Rosasco, 2013).

Os sistemas con substrato distribuído polo paramento, adoitan ser xa máis custosos. O prezo de sistemas semellantes aos de dobre pel, mais con contedores de substrato e sistemas de rega, estímase de 219 a 293 €/m² (Perini & Rosasco, 2013). Os sistemas con substrato en vertical contido entre láminas de feltro están arredor dos 315 €/m² (Perini & Rosasco, 2013), mentres que os que teñen o substrato en celas tipo gofre teñen prezos aproximados de 300 €/m², e sistemas máis voluminosos como os de gabións 350 €/m² (de Garrido, 2011). Sistemas modulares como o analizado no apartado de sistemas tridimensionais (apartado [2.4.2.1.3](#)) teñen uns custes sobre 600 €/m² (Air Garden, 2015b). Moitos sistemas modulares son subministrados por módulo, mais sen ter en conta na maioría dos casos os custes tanto da estrutura

portante como do sistema de rega. Estes módulos teñen uns prezos que están arredor dos 150-800 €/m² (Jardin Vertical).

Canto aos sistemas hidropónicos, os prezos medios están arredor dos 500 €/m² (Garrido, 2011), mais co paso do tempo estanse a moderar.

- **Mantemento**

Canto aos custes de mantemento, neles inflúen factores como a propia complexidade do sistema, a velocidade de crecemento das plantas (o que inflúe na poda e nos traballos de retirada de sobrantes) así como a cantidade destas que necesiten substitución, a cantidade de auga que se necesite, os sistemas de rega e fertirrigación e os sistemas de control destes.

Os sistemas tradicionais de enredadeiras teñen uns gastos de mantemento sobre os 2,8 €/m² ao ano, custes semellantes aos sistemas de dobre pel, sempre que fosen elaborados con elementos con certa durabilidade. Os sistemas con substrato horizontal están arredor dos 9-11 €/m² ao ano. Os sistemas máis que utilicen complexos sistemas de fertirrigación poden custar sobre 27 €/m² ao ano (Perini & Rosasco, 2013).

2.3.2.2. PESO

Outro factor importante que cómpre ter en conta é o peso dos sistemas. Se ben os sistemas de enredadeiras teñen un peso moi baixo (de 2,7 a 5,5 Kg/m²), e os sistemas de dobre pel pesan arredor dos 4,4-7 Kg/m² (Ottelé, Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011), os sistemas con substrato poden ser moito máis pesados.

Os sistemas con substrato, ademais do peso do propio substrato, poden ter pesos desde 12 a 75 Kg/m², mais tendo en conta o peso do substrato saturado de humidade, así como dos distintos elementos de soporte, este peso pode superar os 100 Kg/m² (Jardin Vertical; Ottelé et al., 2011).

Se ben este tipo de sistemas xa resultan bastante pesados, con espesores aproximados de 15 cm (aínda que co paso do tempo tenden a facerse menores), os sistemas pesados tipo gabións poden ter espesores moito

maiores (30-40 cm de media), polo que os pesos multiplicaríanse. Mais hai que ter en conta que estes sistemas non se adoitan a utilizar suxeitos a paramentos, senón que son usualmente usados aproveitando a súa capacidade autoportante, sen chegar a ter grandes alturas (de Garrido, 2011).

Canto aos sistemas hidropónicos, estes son moito máis lixeiros ca os que dispoñen de substrato, e están arredor dos 20-30 Kg/m² de peso (Blanc, -c; Ottelé et al., 2011).

Todos estes pesos están referidos á superficie do paramento, sen ter en conta o peso deste.

2.3.2.3. CONSUMO DE AUGA

A auga xoga un papel vital na vida das plantas. Por cada gramo de materia orgánica producida pola planta, as raíces absorben aproximadamente 500g. Calquera desequilibrio no fluxo de auga pode causar unha disfunción en moitos procesos celulares da planta. A auga constitúe entre o 80 e o 95% da masa dos tecidos dos vexetais, mais a maior parte da auga absorbida non remata nos tecidos. Nun día caloroso, soleado e seco, unha folla pode intercambiar o 100% da súa auga en 1 h. Durante a súa vida, unha planta pode perder o equivalente a 100 veces o seu peso fresco en auga a través da superficie das súas follas. Este proceso de perda de auga a través da superficie da folla denomínase transpiración (Taiz & Zeiger, 2006), á que xa nos referimos (no apartado [2.3.1.3](#)). Esta capacidade de refrixerar é proporcional ao consumo de auga.

Mais non só as plantas consumen auga nas envolventes vexetais, senón que gran parte desta é evaporada desde os distintos elementos expostos ao ambiente, como é o substrato dos sistemas que o teñan, e especialmente os medios de cultivo da maior parte dos sistemas hidropónicos. Esta evaporación é maior canto máis seco é o ambiente e máis auga estea exposta a ese ambiente.

Os sistemas vexetais verticais, pola súa propia estrutura, e ao contrario do que ocorre nas cubertas axardinadas, teñen unha alta necesidade de rega, así como de nutrientes e coidados, polo que resulta importante utilizar especies

adaptadas (de Garrido, 2011).

O consumo de auga total depende de multitude de factores, coma o propio tipo de planta, o tipo de sistema, o clima, a orientación e o lugar concreto onde se sitúe, polo que os valores poden variar moito. O consumo de auga nun sistema con substrato estímase en 1-3 l/m² nun día de consumo medio dentro do ano, mais nun sistema hidropónico estímase en 3-5 l/m²/d (Gerhardt & Vale, 2010; Ottelé et al., 2011)

2.3.2.4. POSIBILIDADE DE DANOS DA VEXETACIÓN AOS SOPORTES

As especies vexetais que integran os sistemas verticais, especialmente as que medran sobre o propio paramento, pódennlle producir danos. Sobre materiais como a pedra, os danos que poden causar están ben documentados, e poden ser de tipo físico, químicos ou biolóxicos. Agora ben, por outra banda, as envoltentes vexetais tamén poden proporcionar protección (Sternberg, Viles, & Cathersides, 2011).

Existe a crenza de as plantas son hostís coas estruturas construídas, arrincando o morteiro ou facendo abrir as fisuras coas súas raíces. Se ben estes problemas si se dan, parece que foron esaxerados, a non ser que os soportes xa estivesen danados previamente, nese caso as plantas si que contribúen a acelerar o deterioro. Certamente, hai poucas evidencias de que as plantas produzan grandes danos, e en certos casos, a protección que ofrecen contra danos por acción do vento, sol, choiva ou contaminantes compensa estes danos (Johnston & Newton, 2004).

Por exemplo, un estudo sobre os efectos dunha das plantas máis utilizadas en sistemas vexetais tradicionais, así como unha habitual sospeitosa de causar danos aos paramentos, como a hedra, revela que as raíces desta planta causan problemas menores ás superficies pétreas. Agora ben, de existir ocos ou fendas, a hedra si que pode penetrar neses orificios e causar danos relevantes (Viles, Sternberg, & Cathersides, 2011).

2.4. TIPOLOXÍA

Os tipos de sistemas vexetais verticais podémolos clasificar atendendo a diversos criterios: tipo de construción (sistemas modulares, sistemas construídos in situ...), tipo de plantación (preplantados, plantación in situ), en función da relación do sistema co paramento (sistemas independentes do paramento, chamados fachadas vexetais, ou sistemas integrados nos paramentos, chamados muros vivos), tipo de substrato...

A seguinte clasificación está realizada usando o criterio do **medio de cultivo**, pois é unha maneira doada de organizar os sistemas existentes, á vez que se pode observar a súa evolución ao longo do tempo. A descrición dos distintos sistemas está elaborada en función dos numerosos exemplos existentes, tendo en conta tanto as características que os propios comercializadores indican, como as observacións que se poden realizar a partir do analizado nos apartados anteriores.

Para poder facer a análise segundo o medio de cultivo, cómpre aclarar o significado de substrato. O termo **substrato** pode remitir a diferentes conceptos próximos entre eles, mais a seguinte clasificación está elaborada entendendo o substrato como un elemento sólido que non só fai a función de soporte, senón que as plantas tamén toman del os nutrientes que necesitan. Tradicionalmente esta acepción de substrato estaba vinculada á terra de cultivo, que é utilizada en varios sistemas vexetais verticais con substrato en disposición horizontal (sistemas con macetas, por exemplo). Co paso do tempo, os compoñentes do substrato vanse facendo máis complexos, mesturando elementos que principalmente achegan nutrientes (terra, turba, humus...) con outros elementos complementarios (perlita, fibra de coco, casca de arroz...) que achegan outras propiedades, como mellor capacidade de retención de auga, mellor aireación, menor peso... Finalmente, co desenvolvemento dos sistemas hidropónicos nos sistemas vexetais verticais, estes elementos que achegan nutrientes van perdendo presenza, xa que o achegamento de nutrientes realízase a través da auga e non do substrato. Nos sistemas hidropónicos poden existir igualmente elementos sólidos que dean

soporte e protección ás plantas, mais non teñen a función de subministrar nutrientes. Estes elementos inertes tamén poden ser chamados substrato, mais no contexto desta clasificación non serán considerados como tal (ou referirémonos a eles como substrato hidropónico).



Esquema 1: Proposta de clasificación segundo o medio de cultivo

2.4.1. NACIDAS NO SOLO

As plantas neste sistema nacen no medio habitual, o solo, e poden desenvolver o seu sistema radicular sen grandes limitacións, tomando os nutrientes e a auga del, sen necesidade de grandes intervencións. Igual que os demais sistemas, poden necesitar fertilizante e rega, mais en moita menor medida.

2.4.1.1. TRADICIONAIS



Os deste tipo son os máis primitivos dos sistemas vexetais verticais. Baséanse no uso de plantas que teñen as súas raíces no solo, na base dos paramentos, e desde aí medran estendéndose sobre eles. As especies vexetais utilizadas neste sistema son as gabeadoras e, tendo en conta os elementos de suxeición do que dispoñen este tipo de plantas (ver ilustración 3), son aptas as que posúen raíces aéreas ou ventosas para se poderen propagar sobre amplas superficies sen se desprenderen.

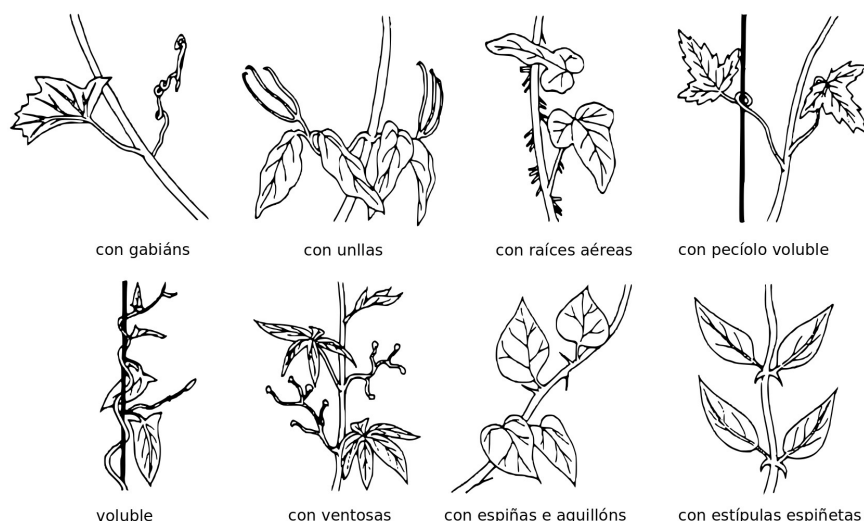


Ilustración 3: Modos de fixación das plantas gabeadoras (fonte: Coetapac, 1995)

Os paramentos serven ou deben servir só como soporte estrutural, pois de non ser así e de as especies desenvolveren o seu sistema radicular co fin de captar humidade e nutrientes sobre os paramentos, os danos que lles poderían causar serían máis elevados.



Imaxe 4: Exemplo de sistema vexetal vertical tradicional na Universidade de Chicago (fonte: Spikebrennan, 2007)

Particularidades:

✓ Custos iniciais: **moi baixos**

Abonda con adquirir as especies necesarias e plantalas próximas ao paramento.

✓ Custos mantemento: **moi baixos**

É necesaria a poda cada certo tempo (anualmente, en xeral) para ordenar e controlar o crecemento. Tamén pode ser necesaria unha poda de formación se se pretende guiar a planta mentres non cubra a superficie na súa totalidade. Ao estar plantada no solo, as raíces desenvólvense libremente e poden acadar certa profundidade. Este factor, xunto con que o solo adoita conservar certa humidade aínda que a súa superficie semelle máis seca, fan que non sexa necesaria a instalación de sistemas de irrigación, mais pode que sexa necesario regar en períodos secos.

✓ Complexidade: **moi sinxela**

Non son necesarios grandes coñecementos específicos para poder instalar e manter un sistema deste tipo.

x Tempos de instalación e restitución das especies: **moi longos**

Estes tempos están moi limitados ao ciclo vital das propias plantas, pois, pola propia natureza do sistema, as plantas teñen que se desenvolver in situ, polo que hai que agardar. Para poder dicir que o sistema está rematado (é dicir, cando as plantas cubran totalmente a superficie prevista) é necesario esperar longos períodos de tempo (da orde de anos, en función da velocidade de crecemento da planta e da amplitude da superficie que hai que cubrir). Do mesmo xeito, se algunha planta morre, tamén é necesario un gran período de tempo para ocupar o oco que deixa.

✓ Durabilidade: **alta**

Estes sistemas adoitan ter unha boa durabilidade, en función da vida mesma das plantas utilizadas, e de ir repondo convenientemente as plantas que vaian perecendo, poden acadar durabilidades altas.

x Diversidade de especies: **moi limitada**

As especies que se poden usar nestes sistemas son moi limitadas. Só son aptas especies gabeadoras e, dentro deste tipo, as que se fixen con raíces aéreas ou ventosas.

✓ Continuidade: **moi alta**

Unha vez que as plantas gabeadoras se desenvolven totalmente, poden cubrir completamente a superficie desexada.

✓ Peso: **moi baixo**

O peso destes sistemas é moi baixo, xa que non ten ningún elemento a maiores, só o peso das plantas.

2.4.1.2. DOBRE PEL



Os sistemas de dobre pel baséase no sistema exposto anteriormente, no que as plantas teñen as raíces no solo (na base do paramento), mais coa incorporación dun elemento que sirva de soporte ás plantas en todo o seu desenvolvemento, separándoas dos paramentos. Igual que o sistema anterior, é un sistema deseñado para se usar con plantas gabeadoras, mais estas plantas son aptas con todos os tipos de suxeición, aínda que en menor medida as que teñen espiñas, aguillóns e estípulas espiñentas.



Imaxe 5: Sistema de cables, da empresa BRIMAT (fonte: Brimat, -a)

Existen diferentes tipos de entramados para se usaren neste tipo de sistemas, como poden ser reixas, cables ou mallas, pranchas perforadas etc., creando unha dobre pel separada dos paramentos por onde gabean as plantas. Ademais do tipo de entramado que lles serve como soporte ás plantas, estes sistemas tamén necesitan elementos para ancoraren esa segunda pel ao paramento.



Imaxe 6: Entramado de reixas preparado para ser gabeado, da empresa GREENSCREEN (fonte: Greenscreen®)

Particularidades:

- ✓ Custos iniciais: **baixos**

Ao custo de adquisición e de plantado das especies (semellante ao do sistema tradicional), hai que lle sumar os custos do tipo entramado, mais adoitan ser bastante económicos respecto a outros sistemas máis complexos.

- ✓ Custos mantemento: **baixos**

Xunto co custo do mantemento dos vexetais (semellante ao sistema tradicional), hai que ter en conta o mantemento do entramado, mais este tipo de sistemas adoitan estar realizados con elementos duradeiros, como o aceiro inoxidable, polo que os custos de mantemento non tenden a ser altos.

- ✓ Complexidade: **sinxela**

Non son necesarios grandes coñecementos específicos para poder instalar e manter un sistema deste tipo.

- x Tempos de instalación e restitución das especies: **moi longos**

Estes tempos están moi limitados ao ciclo vital das propias plantas, pois, pola propia natureza do sistema, as plantas teñen que se desenvolver in

situ, polo que hai que agardar. Para poder dicir que o sistema está rematado (é dicir, cando as plantas cubran totalmente a superficie prevista) é necesario esperar longos períodos de tempo (mesmo anos, en función da velocidade de crecemento da planta e da amplitude da superficie que se vai cubrir). De igual forma, se algunha planta morre tamén é necesario un gran período de tempo para ocupar o oco que deixa.

✓ Durabilidade: **alta**

Estes sistemas adoitan ter unha boa durabilidade, en función da vida mesma das plantas utilizadas, e dos sistemas de soporte, que adoitan a estar feitos con elementos duradeiros. De ir repondo convenientemente as plantas que vaian perecendo, poden acadar durabilidades altas.

x Diversidade de especies: **moi limitada**

As especies que se poden usar nestes sistemas son limitadas. Só son aptas especies gabeadoras e, dentro deste tipo, as que se fixan con espiñas e aguillóns, estípulas espiñentas ou as que non teñan un sistema de fixación característico (ver ilustración 3) teñen máis problemas á hora de se sosteren nos sistemas máis sinxelos, coma os de cables.

✓ Continuidade: **moi alta**

Unha vez que as plantas gabeadoras se desenvolven totalmente, poden cubrir a superficie desexada, aínda que con certas limitacións, en función do tipo de entramado e das especies utilizadas.

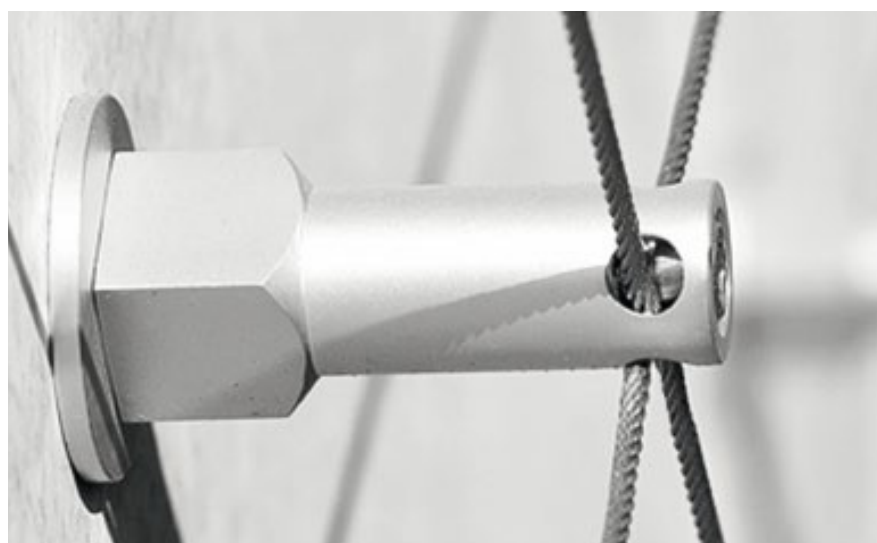
✓ Peso: **baixo**

O peso destes sistemas é baixo. Aínda que algún entramado pode conter moita densidade de elementos de soporte, non adoitan a ser moi complexos, e os seu peso non é moi alto comparado con outros sistemas.

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: o sistema Greencable de Carl Stahl (Stahl, 2015a).

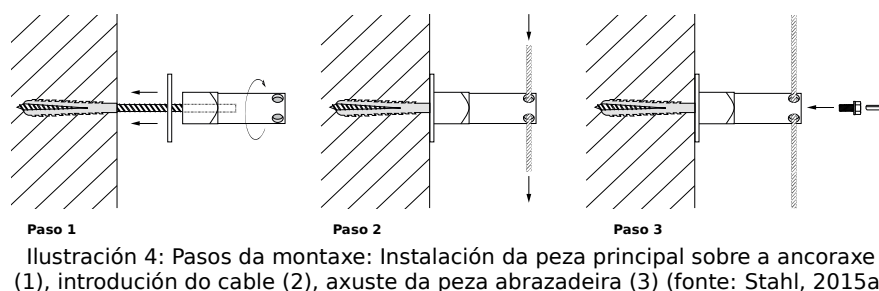
Consiste nun sistema de dobre pel, cunha estrutura de enreixado mediante cables para plantas gabeadoras. Componse dunhas ancoraxes de forma cilíndrica, con catro perforacións polas que poden transcorrer os cables. É un sistema sinxelo e de montaxe rápida, resistente á intemperie e á corrosión, e pódese adaptar a diferentes dimensións de paramento.



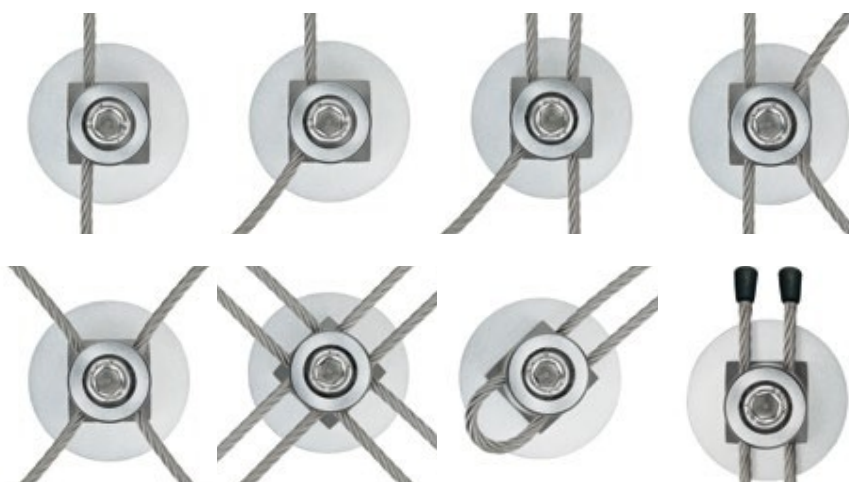
Imaxe 7: Detalle dunha ancoraxe (fonte: Stahl, 2015a)

Consisten nunha primeira peza de aceiro inoxidable AISI 316 a modo de ancoraxe de dobre rosca. Un lado ancórase ao soporte mediante perforación previa e taco expansivo, mentres que o outro lado fica roscado sobre o que se introducirá a seguinte peza. Tamén existen outras opcións de ancoraxe, en función do soporte.

A seguinte peza, que é a que máis exposta está á vista (ver imaxe 7) consiste nun cilindro de alumino anodizado, parcialmente oco nun extremo, con catro perforacións por onde introducir os cables. No outro extremo troca a súa forma cilíndrica por unha cuadrangular, para facilitar a súa ancoraxe mediante chave. Esta peza enróscase sobre a anterior, dispoñendo previamente unha arandela.



No oco do seu extremo introdúcese e aparafúsase unha pequena peza a modo de abrazadeira. Estas pezas, que poden ser de plástico ou de aceiro inoxidable, axudan a distribuír os esforzos debido aos posibles cambios de dirección dos cables, para que a peza de aluminio onde van contidos non se resinta. Varían en función da disposición que se lle pretenda dar aos cables, xa que admiten múltiples disposicións, como se mostra na imaxe 8.



Imaxe 8: Posibilidades de disposición dos cables (fonte: Stahl, 2015a)

Os cables son trenzados de Ø4 mm, de aceiro inoxidable AISI 316, cunha tensión de rotura de 8,34 kN. Tamén existen outras pezas de remate dos cables, ou que se poden interpor nestes para serviren de apoio ás plantas.

As disposicións do entramado de cables deste sistema son múltiples. Unha vez creado o entramado, as plantas poderán gabear por el, sen facelo directamente sobre os paramentos. As pezas principais poden ter varias dimensións (95 ou 150 mm), permitindo separar máis ou menos as plantas do paramento.

Este sistema é apto para sistemas onde as plantas nazan no solo, como tamén

para sistemas con contedores de substrato.



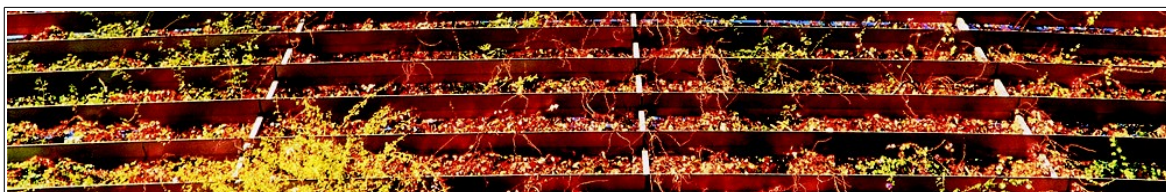
Imaxe 9: Mostra dun sistema xa instalado (fonte: Stahl, 2015b)

2.4.2. NACIDAS NO PARAMENTO

2.4.2.1. CON SUBSTRATO

Estes sistemas baséanse na colocación de substrato en elementos deseñados para contelos, para se disporen despois onde se quixer. Diferéncianse dos sistemas plantados sobre o solo en que nestes o substrato está moito máis limitado fisicamente, polo que os elementos que conteñen e que as plantas necesitan tamén o son, o que fai que necesiten máis mantemento. É necesario repor a auga perdida, con sistemas de irrigación ou con rega manual, con máis frecuencia ca nos sistemas afincados no solo, pois o solo ten maior inercia hídrica, xunto con que as raíces se poden desenvolver sen tantas limitacións, xa que se poden introducir na terra en busca de humidade. Canto aos nutrientes, polos mesmos motivos, tamén son máis limitados, o que pode afectar á durabilidade do sistema. Isto pódese corrixir mediante fertilización (nos sistemas nos que sexa o suficientemente doada esta solución) ou mediante fertirrigación (aínda que se corre o risco de colmataxe de sales no substrato, mais pola contra, pódese controlar o pH e adecualo ás plantas que se queiran utilizar).

2.4.2.1.1. Disposición horizontal do substrato



Este tipo de sistema, igual ca o de dobre pel, ten como orixe o sistema tradicional. A diferenza dos sistemas tradicionais, nos que as plantas teñen o solo como único punto de partida, nos sistemas con substrato en disposición horizontal as plantas poden partir desde calquera lugar. Isto é posible debido á distribución polo paramento de elementos contedores de substrato, onde as plantas se asentán. Ao existiren diversos puntos onde se poden cultivar as plantas, redúcese a superficie que ten que abarcar cada unha, polo que xa non son necesarias especies de gran percorrido, coma as gabeadoras, para poder cubrir toda a superficie. Isto permite que poida ser utilizado unha gran variedade de especies, incluso especies arbustivas e arbóreas de pequeno porte. As gabeadoras, se ben poden ser empregadas de igual forma que nos sistemas descritos anteriormente (é dicir, gateando desde o seu punto de orixe), tamén poden disporse de forma colgante.



Imaxe 10: Exemplo dun patio cordobés, que pode ser considerado coma un sistema vexetal vertical elemental con substrato horizontal (fonte: Zori del Amo)

Nestes sistemas o substrato está acoutado inferior e lateralmente. Sopórtase por gravidade, sen necesidade de elementos que lle axuden a se conter na

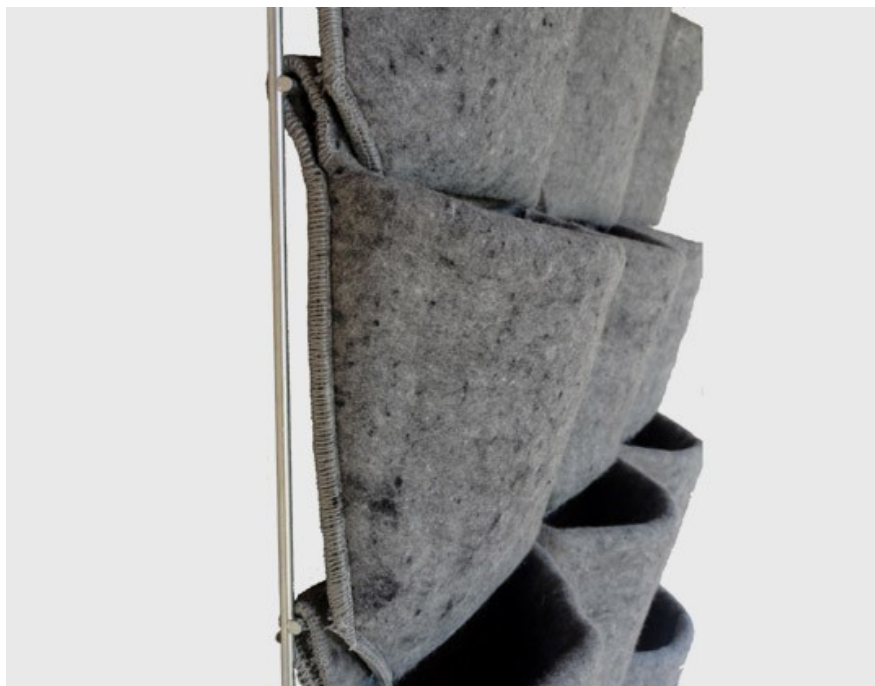
superficie por onde as plantas emerxen. Por tanto, estes sistemas teñen certa predisposición á horizontalidade. A superposición dos distintos elementos contedores de substrato (puntuais ou lineais, fixos ou móbiles) dispostos nun plano vertical logra que dean un efecto de verticalidade e, por tanto, que sexan considerados sistemas vexetais verticais.



Imaxe 11: Uso de árbores no "Bosco Verticale" de Stefano Boeri, en Milán.
O porte das árbores pódese limitar acoutando o seu sistema radicular
(fonte: Boeri, 2015)

Existe gran variedade de solucións deste tipo de sistemas. Os sistemas máis elementais e tradicionais consisten na disposición sobre unha superficie dun certo número de elementos puntuais que conteñen substrato, como macetas e xardineiras (ver imaxe 10). Estes sistemas caracterízanse pola súa simpleza, e non adoitan ter sistemas de irrigación, senón que se regan manualmente.

Partindo deste concepto xurdiron un amplo abano de solucións: contedores de substrato máis grandes e complexos, chegando a ser continuos en todo o perímetro dos edificios; sistemas de subministro de auga máis complexos, con sistemas de irrigación, incluso con disolucións nutritivas, aprovisionamento de auga (denominados modelos alxibe); sistemas modulares de doada instalación; sistemas preplantados; sistemas adaptados para interiores; sistemas semellantes con petos de feltro; sistemas deseñados para a produción de alimentos...



Imaxe 12: Sistema modular de petos de feltro, da empresa VERTIFLOR
(fonte: Vertiflor)

Particularidades:

- ◆ Custos iniciais: **baixos-medios-altos**

Debido á existencia de gran cantidade de sistemas deste tipo, os custos poden ser moi variables. Un sistema básico a base de macetas con substrato regado manualmente é moi económico. Con todo, segundo vaia aumentando a complexidade do sistema, os custos iniciais incrementáanse en proporción.

- ◆ Custos mantemento: **baixos-medios-altos**

Igual que os custos iniciais, os custos de mantemento tamén varían en función da complexidade do sistema, e mesmo poden chegar a ser notables.

Polo xeral, este tipo de sistemas teñen menores custos en irrigación ca os sistemas de substrato en vertical, debido ao mellor reparto da auga polo substrato. Xeralmente, nos sistemas con substrato as plantas teñen menores velocidades de desenvolvemento, o que implica menores custos á hora de facer o mantemento dos vexetais. En función da complexidade e do tamaño do sistema mesmo, poden ser necesarios

sistemas de rega automáticos, incluso de fertirrigación, o que incrementaría os custos.

◆ Complexidade: **sinxela-media-alta**

Dependendo do tipo do sistema en concreto. Pode ser moi doada en sistemas primarios como macetas; media en sistemas máis sofisticados, como os que necesiten irrigación; mesmo poden chegar a ser complexos de necesitaren fertirrigación, sistemas que xa requiren a medida e control dos diversos compoñentes do líquido.

◆ Tempo de instalación e de restitución: **baixo-medio-alto**

O tempo de instalación e de restitución das especies depende da planta en concreto. As especies de pequeno porte non tardan moito en se desenvolveren, mentres que as de gran porte si poden tardar máis tempo. En calquera caso, neste tipo de sistemas adoita ser posible a introdución de plantas cun desenvolvemento xa avanzado, o que minimiza os tempos. Aínda que no exemplo das árbores o seu transplante pode ser custoso de ser moi grandes, ademais de que se adaptan mellor ao novo medio se non están moi desenvolvidas.

◆ Durabilidade: **media**

Polo xeral, os sistemas con substrato limitado poden ser menos duradeiros que os demais sistemas, xa que se poden acabar os contidos de nutrientes, moito máis difíciles de restituír ca a auga. De se usaren sistemas de fertirrigación, pódense dar problemas de saturación de sales.

✓ Diversidade de especies: **moi ampla**

Aínda que depende do tipo en concreto, este tipo de sistemas poden albergar gran cantidade de especies.

Ao estar o substrato en posición horizontal, sempre e cando o recipiente sexa o suficientemente amplo para o tipo de planta que vai conter, estea ben suxeito e soporte o peso e as demais cargas ás que pode estar sometido, e tendo as plantas suficiente espazo vertical para o seu

desenvolvemento, é posible aloxar un amplo abano de especies, incluso especies arbóreas. Isto non é posible con sistemas onde os vexetais procedan dun plano vertical pois, por unha banda, a propia disposición do sistema dificulta o desenvolvemento de especies de gran porte ao interferir o desenvolvemento dunhas con outras que se dispoñan nesa mesma vertical e, por outra banda, o momento provocado polo desprazamento horizontal do centro de gravidade das especies máis pesadas respecto á súa base, xunto co maior peso destas, fan que as cargas que teñen que aguantar os soportes sexa moito maiores e inviables.

x Continuidade: **baixa-media**

Aínda que tamén depende dos distintos tipos, polo xeral, estes sistemas non teñen a continuidade que poden ter os demais. Ao ser un cúmulo de elementos horizontais dispostos en vertical, tenden a deixar ocos entre os distintos elementos, que poden ser corrixidos, ben mediante a aproximación dos distintos contedores de substrato, ou ben mediante a distribución das especies vexetais. As especies gabeadoras poden servir para este cometido, especialmente mediante entramados semellantes aos dos sistemas de dobre pel.

x Peso: **medio-alto**

Os sistemas con substrato, polo xeral, son máis pesados que os demais, pois o substrato mesmo, aínda que se poida alixeirar, ten un peso notable. Este tipo de sistemas pode incrementar máis o seu peso de se usaren especies de gran porte.

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: o sistema de muro vexetal GTD da empresa Brimat.

Consiste nun sistema de distribución horizontal do substrato a base de contedores de substrato de tipo bandexa.

É un sistema doado de instalar e manter, e non require persoal especializado. Pódese utilizar tanto en interiores como exteriores, e non require

impermeabilización adicional.

As bandexas teñen unhas dimensións de 440x180x160 mm, e están feitas de polipropileno reciclable con aditivo protector contra os raios ultravioleta, cunha capacidade para 2 l de substrato. Os módulos suxéitanse a unha malla galvanizada de 5x5 cm mediante unhas garras das que están provistos. Cada contedor pode reter ata 0,85 l de auga, que se separa do substrato mediante unha reixa drenante. Dispoñen dunha canle que transfere a auga de cada módulo aos demais contedores que se dispoñan a un nivel inferior na mesma vertical, unha vez eses 0,85 l sexan acumulados.

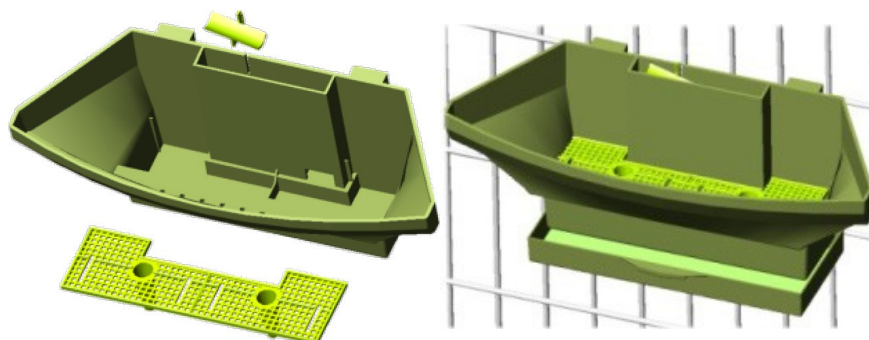


Ilustración 5: Módulos do sistema: despece e sistema de suxeición
(fonte: Brimat, -b)

O sistema de rega instálase na parte superior do conxunto (non de cada módulo), xa que despois esa auga vai ser distribuída ás ringleiras inferiores, retendo cada módulo a auga que lle sexa necesaria. Na parte inferior dispórase dunha canle de recollida de auga sobrante, que pode ser reutilizada.

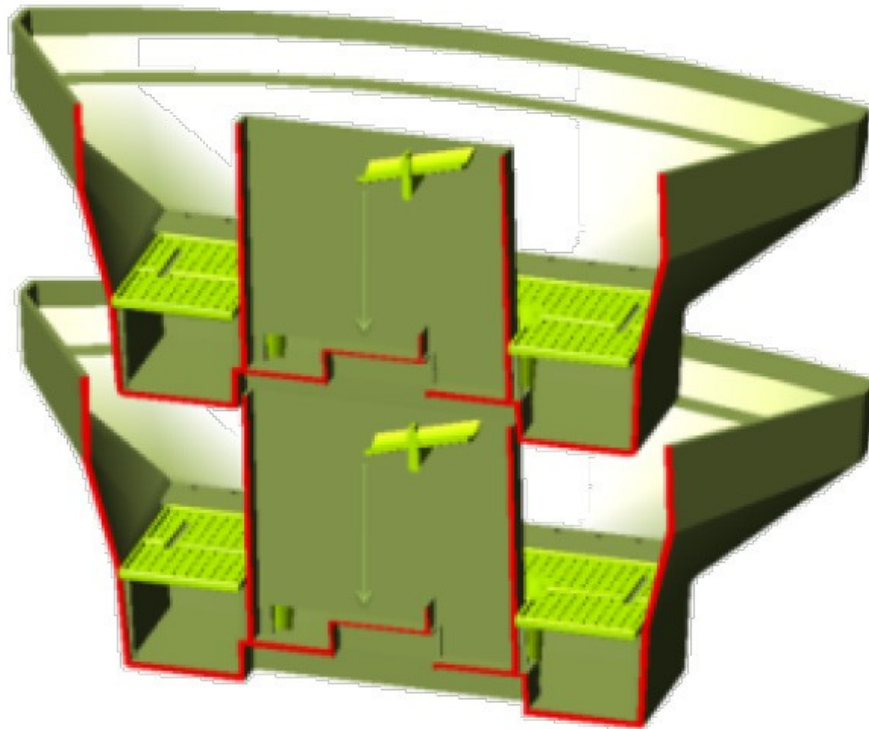


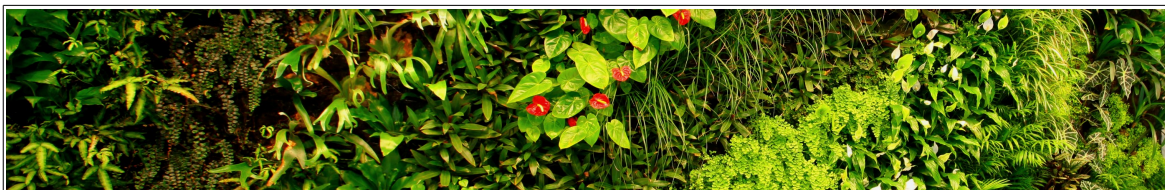
Ilustración 6: Sección vertical pola canle, onde se observa o encaixe das pezas. O espazo por debaixo da reixa drenante é cuberto de auga. Unha vez cuberto, a auga reborda baixando para encher o modulo inferior. (fonte: Brimat, -b)

Se ben a altura de cada módulo é de 16 cm, estes encaixan cos módulos contiguos, de xeito que se pode instalar un módulo cada 15 cm en altura. O sistema pode dispor duns 15 módulos cada metro cadrado.



Imaxe 13: Mostra do sistema instalado (fonte: Brimat, -b)

2.4.2.1.2. Disposición vertical do substrato

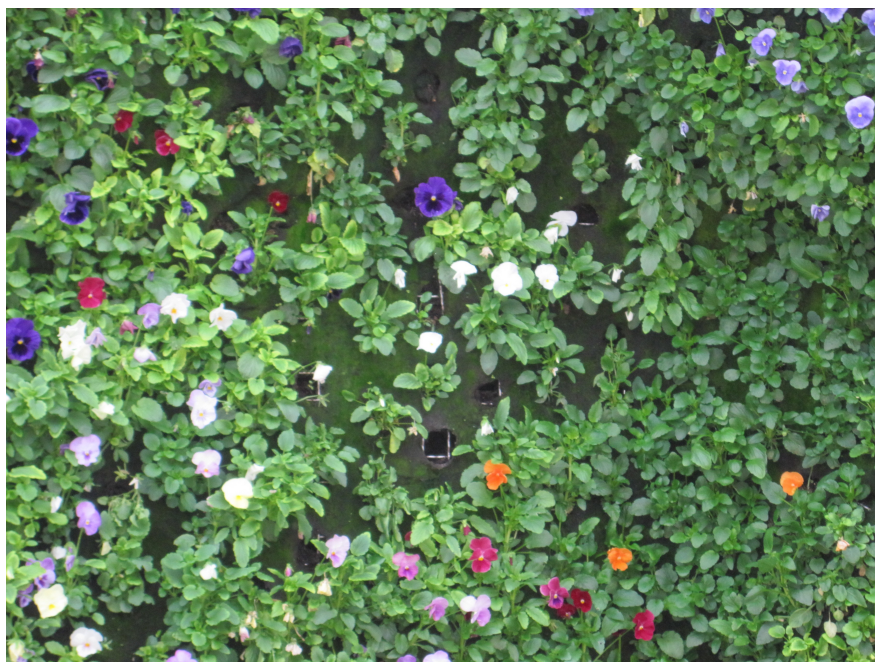


Os sistemas coa disposición do substrato en vertical, a diferenza dos de disposición en horizontal, necesitan conter dalgunha maneira o substrato no plano do que emerxen as plantas para que non se desprenda ao ser usado en superficies distintas da horizontal. Por tanto, consideramos sistemas deste tipo aqueles nos que o substrato está completamente acoutado, ou suficientemente compactado ou estabilizado, ou no que se utilice algún outro método para evitar que o substrato se desprenda por non ser suficiente a acción da gravidade e a propia cohesión do substrato para se poder reter.



Imaxe 14: Fachada vexetal con pranchas de aluminio perforadas, no STM de Donosti (fonte: Nieto Sobejano, 2012)

A disposición do substrato en vertical presenta certas dificultades. Máis alá do problema evidente da contención do substrato, existen outras singularidades que fan que un sistema deste tipo sexa máis complexo, coma as seguintes: a segregación por tamaños das distintas partículas que compoñen o substrato; a maior compactación do substrato na parte inferior do sistema ou do módulo; a maior probabilidade de lixiviación (perda de nutrientes do substrato) e o comportamento da auga en función da altura, o que pode dar pé a lugares secos e lugares enchoupados.



Imaxe 15: Detalle de Puppy, o can florido ao carón do Museo Guggenheim, Bilbao. Pódese observar a súa estrutura de malla metálica e o seu revestimento de tea

En función do método para manter o substrato, podemos destacar dous tipos diferenciados, aínda que poden darse combinacións entre eles:

- tipos que **contenén o substrato acoutándoo** con algún elemento, como poden ser teas ou similares (rafias, feltros, xeotéxtiles...), reixas electrosoldadas, entramados plásticos e metálicos... Os máis comúns son os sistemas con teas ou similares, xa que evitan mellor a perda de finos, no que plantas son introducidas no substrato mediante pequenas perforacións. Mais existen outros sistemas nos que as plantas son introducidas en ocos xa existentes, ou nos que os elementos de contención do substrato son colocados posteriormente á plantación, que

se realiza en horizontal, axudando estas a conter o substrato.



Imaxe 16: Sistema VERTIPACK. Plantado en horizontal e suxeito posteriormente por reixa metálica. (fonte: Le Prieuré Vegetal i.D.)

- tipos que **contéñen o substrato mediante compactación e/ou estabilización** (proceso no cal se lle engade ao substrato elementos como cal, cemento ou outros aditivos, co fin de mellorar algunhas propiedades, como a súa cohesión). Este tipo de sistemas adoitan ter un entramado de celas para lles dar máis estabilidade, e neles o substrato é compactado en posición horizontal, e as plantas tamén adoitan ser plantadas posición horizontal, desta forma as raíces das plantas tamén axudan a conter o substrato. Para mellorar a súa posterior instalación en vertical, estes sistemas acostuman ser modulares.



Imaxe 17: Módulo sen plantar con substrato estabilizado da empresa ENVOLVENTEC (fonte: Envolventec)

Nestes sistemas, a instalación de sistemas de rega é case obrigatoria, pois necesitan un fluxo de auga constante para evitar a perda de humidade, especialmente nas partes máis altas do sistema ou módulo. Adoitan ter elementos polos que a auga se distribúa por capilaridade para lle axudar ao sistema de rega a distribuír máis uniformemente a auga.

Particularidades:

× Custos iniciais: **medios-altos**

Debido á existencia de gran cantidade de sistemas deste tipo, os custos poden ser moi variables, mais son sistemas máis complexos ca os de substrato en horizontal, xa que a propia disposición do substrato formula novos retos.

× Custos mantemento: **medios-altos**

Igual ca os custos iniciais, os custos de mantemento tamén varían en función da complexidade do sistema, mesmo poden chegar a ser notables.

Polo xeral, este tipo de sistemas teñen menores custos en irrigación ca os sistemas hidropónicos, pois ao teren substrato, non dependen

absolutamente da fertirrigación. En cambio, en comparación cos sistemas co substrato en horizontal, si que adoitan ter mellores sistemas de irrigación e distribución da auga, xa que por acción da gravidade, esta tende a crear zonas con distintos graos de humidade. Canto ao mantemento propio das plantas, nos sistemas con substrato as plantas teñen menores velocidades de desenvolvemento, o que implica menos custos á hora de facer o mantemento dos vexetais.

x Complexidade: **media-alta**

Dependen do tipo do sistema en concreto. Pode non ser moi complexa en sistemas básicos, mais poden existir sistemas complexos coma os que necesiten técnicas de fertirrigación, que xa requiren a medida e control dos diversos compoñentes do líquido. Polo xeral, son máis complexos ca os sistemas de substrato en horizontal, mais menos ca os sen substrato.

✓ Tempos de instalación e restitución de especies: **baixo-medio**

Este tipo de sistemas tenden a estar moi industrializados, polo que os tempos de instalación non adoitan ser moi altos. Canto á restitución de especies, é común que se poidan cambiar por módulos, macetas ou mesmo plantas individuais con terrón, incluso coa maceta enteira en sistemas de tipo *plug-in*. Estes sistemas non soportan especies moi grandes, polo que se fai máis doada aínda a súa restitución.

x Durabilidade: **media-baixa**

Polo xeral, os sistemas con substrato limitado poden ser menos duradeiros ca os demais sistemas, xa que se pode acabar o contido de nutrientes, moito máis difíciles de restituír ca a auga. De se usaren sistemas de fertirrigación, pódense dar problemas de saturación de sales. Ao adoitar ter menores volumes de substrato que os de disposición en horizontal, eses problemas poden darse antes.

◆ Diversidade de especies: **media-alta**

A propia disposición vertical do sistema dificulta o desenvolvemento de

especies de gran porte ao interferir o desenvolvemento dunhas con outras que se dispoñan nesa mesma vertical. A maiores, ao naceren as especies do paramento vertical, as especies de gran porte tenderían a se curvaren desde que nacen ata atopar a verticalidade, facendo que o seu centro de gravidade se desprace horizontalmente respecto á súa base, e creando un momento dinámico que faría que as cargas que teñen que aguantar os soportes sexan moito maiores. Por estes motivos, as especies usadas nestes sistemas non poden ser moi grandes.

✓ Continuidade: **media-alta**

Este tipo de sistemas poden ter substrato en toda a superficie e, por tanto, poden albergar plantas sen deixar grandes ocos.

x Peso: **medio-alto**

Os sistemas con substrato, polo xeral, son máis pesados que os demais, pois o substrato mesmo, aínda que se poida alixeirar, ten un peso notable. Este tipo de sistemas, ao teren especies de menor porte, e ao tenderen a minimizar a cantidade de solo en favor de usar sistemas de fertirrigación, poden ser algo máis lixeiros que os de substrato en horizontal.

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: o sistema Naturpanel de Paisaje Vertical (Paisaje Vertical, -b).

Consiste nun sistema modular facilmente montable, onde os módulos se poden dispor por separado, mais vén preparado para unha cantidade concreta. Está orientado a poder ser instalado por calquera persoa, e pode ser apto tanto para interiores como exteriores. Os contedores de substrato son de tipo saco. Dispón tamén dun depósito de auga incorporado en cada módulo (os sistemas con depósito denomínanse alxibe).

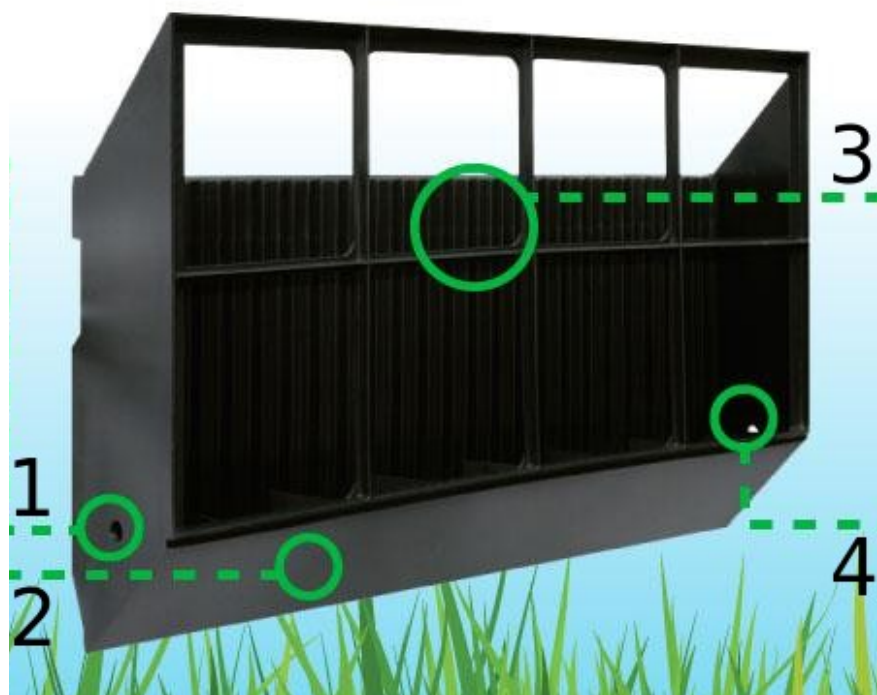


Ilustración 7: Forma do módulo, onde se aprecian os orificios de entrada e saída de auga (1 e 4), así como o depósito (2) e o lugar onde irán as plantas (3) (fonte: Paisaxe Vertical, -b)

As pezas que compoñen a unidade son: os contedor modular de plástico con depósito incorporado, dous sacos onde se introducirá o substrato, dous tipos de platinas de separación, unha lámina de feltro que axuda a distribuír a auga do depósito; así como os perfís en L para a súa suxeición, e unha serie de accesorios para conectar o sistema de irrigación entre distintos módulos (como tubos de rega, cóbados e manguitos de unión, así como bridas para a suxeición dos distintos elementos).

O módulo constrúese da seguinte forma:

- En primeiro lugar colócase o manguito de unión do depósito de auga (ver paso 1 da ilustración 8).
- Posteriormente, introdúcese a platina maior canda a lámina de feltro, en posición vertical, sobre o fondo do módulo. A lámina de feltro é maior ca a platina, polo que unha vez rasadas superiormente, o feltro sobresa pola parte inferior. Esa lámina de feltro prégase momentaneamente cara arriba, envolvendo a platina (ver paso 2 da ilustración 8).
- O feltro pregado desta forma permítenos colocar a segunda platina no

fondo do sistema (de forma perpendicular á anterior), separando o depósito de auga do lugar onde irán os sacos do substrato. Unha vez colocada esta platina xa se pode deixar descansar a lámina de feltro sobre esta (ver paso 3 da ilustración 8).

- Unha vez feito isto, pódese introducir o primeiro saco con substrato sobre a lámina de feltro e a platina de fondo (ver paso 4 da ilustración 8).
- A primeira platina introducida (a de maior tamaño) ven provista dunha dobrez á altura do primeiro saco, polo que se dobra sobre este saco, xunto co feltro (ver paso 5 da ilustración 8).
- Posteriormente xa podemos colocar o segundo saco, que aseguraremos coa axuda de dúas bridas (ver paso 6 da ilustración 8).

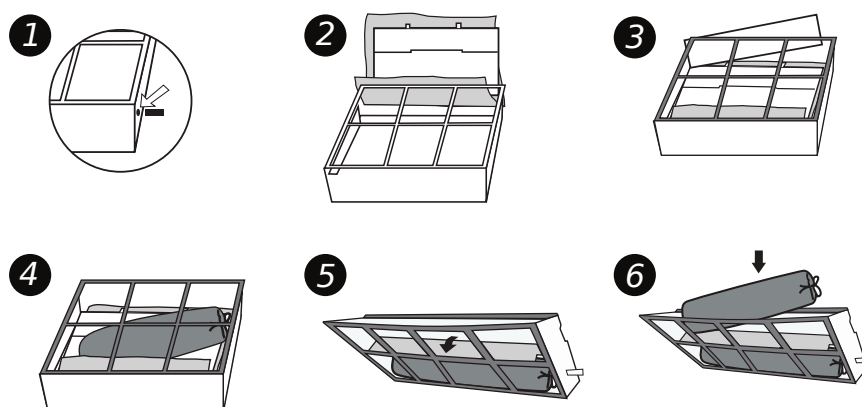


Ilustración 8: Método de montaxe (fonte: Paisaje Vertical, -a)

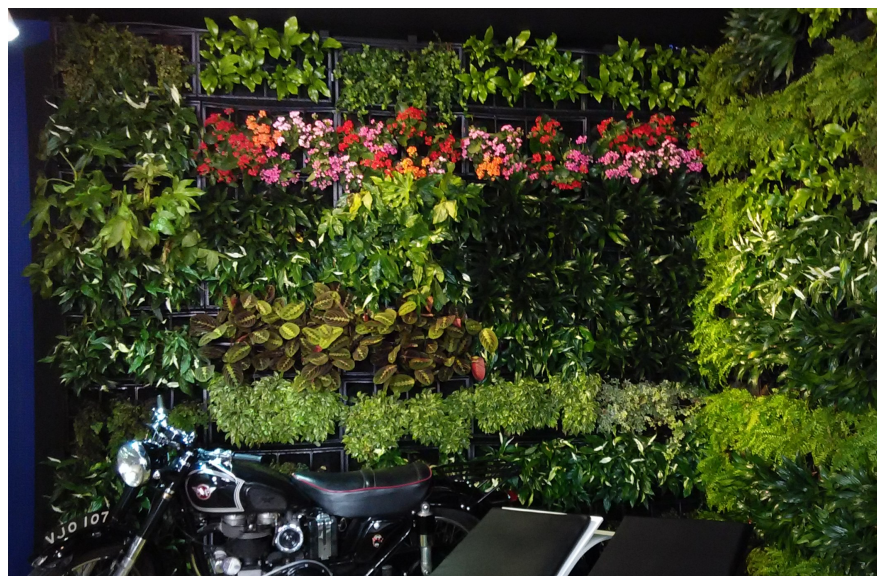
Desta forma, o sistema queda distribuído de abaixo a arriba da seguinte forma: depósito de auga (que na parte de atrás ten parcialmente somerxida a platina maior máis o feltro), platina menor, lámina de feltro, saco inferior, parte pregada da platina maior, lámina de feltro, saco superior. A lámina de feltro queda desta forma en forma disposta en forma de “F”, de xeito que a alma queda somerxida na auga, e cun saco de substrato enriba de cada á. Isto resulta importante para que a auga se distribúa por capilaridade aos dous sacos.

Con isto queda concluída a montaxe da unidade de módulo, mais resta a plantación, a colocación dos soportes e conectar os distintos módulos.

O modo de plantación é sinxela e realízase co módulo sen instalar, en posición horizontal. Consiste en facer uns pequenos cortes no saco, en función do tamaño da planta, e introducir as plantas que se desexen, co terrón incorporado. Recoméndase utilizar un substrato de liberación lenta, así como algún elemento de alixeiramento, e non encher o saco a máis do 80% da súa capacidade. Unha vez plantado, é aconsellable deixar o módulo en horizontal de dúas a catro semanas.

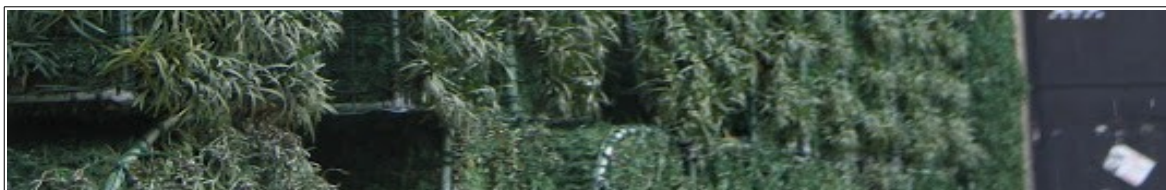
A suxeición aos paramentos faise os mediante perfís en L que se anexan, ancorados ao paramento en disposición horizontal, fixados con parafusos co seu correspondente taco expansivo, separados uns 10 cm. Hai que ter en conta que o peso deste sistema é bastante elevado, xa que cada panel pesa uns 15 kg (que dá lugar a un peso de 85 Kg/m²). Os perfís deben ir ben nivelados, e no caso de instalar máis dunha ringleira, deberán ter unha separación de 33 cm entre eles. Os módulos veñen provistos dunha pestana para ancoralos aos perfís. A montaxe realízase comezando pola parte inferior, xa que, debido á súa sección romboidal, facilítase así o encaixe dos superiores sobre os da fila inferior. Lateralmente, colócanse a tope, comprobando que os manguitos de unión consigan unir os distintos depósitos. Inmediatamente antes de instalar os módulos, recoméndase enchoupalos completamente.

Unha vez colocados os módulos desta forma, só queda instalar o sistema de rega. Os módulos dispostos na mesma liña xa teñen conectado os depósitos entre eles. Só falta realizar as conexións verticais entre as distintas ringleiras coa axuda dos cóbados e das mangueras, que se unirán aos manguitos de unión que xa foron colocados previamente, de xeito que resulta unha distribución de auga en zigzag. Unha vez unidos, resta conectar o primeiro módulo (o da fila superior que fique sen unión) ao subministro de auga, interpondo unha válvula que regule o caudal previamente (arredor dos 10 l/h para un sistema de 8 módulos). O desaugue dispórase na fila inferior, e é ideal que verta a auga nun depósito para que se poida bombear de novo.



Imaxe 18: Mostra final do sistema (fonte: Paisaje Vertical, -b)

2.4.2.1.3. Disposición tridimensional do substrato



Este tipo de sistema caracterízase por poder aloxar plantas en calquera dimensión. Igual que os sistemas de disposición vertical, necesita conter o substrato para que non se desprenda. Diferénciase destes sistemas en que non está concibido para ser vexetados só nunha superficie.

Consisten xeralmente nun volume de substrato acoutado perimetralmente. Os tipos máis habituais destes sistemas son os feitos a base de gabións, gaiolas metálicas realizadas con malla electrosoldada ríxida ou semellantes, que conteñen dentro o substrato, ben contido con feltros ou similares, ou ben usan un tipo especial de substrato, a base de fibras vexetais de musgos do tipo Sphagnum. Aínda que adoitan ter forma de gaiola, tamén se lles pode dar a forma desexada.



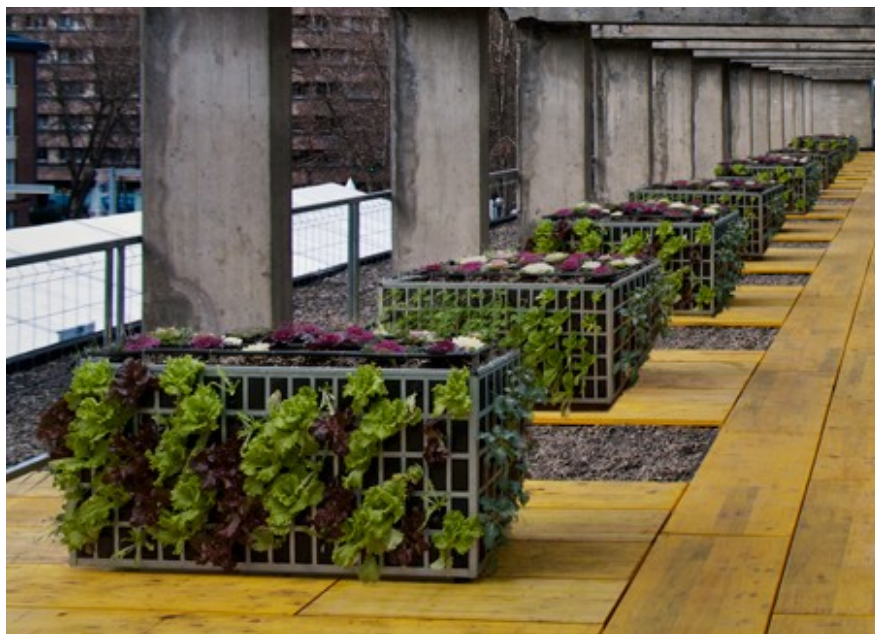
Imaxe 19: Exemplo de sistema tridimensional con forma variable, realizado por Urbanarbolismo en Vitoria Gasteiz

Poden disporse suxeitos aos paramentos, aínda que, debido a que adoitan ter

bastante peso, esta solución non é a máis habitual. Existen tipos nos que unha dimensión está moi reducida respecto ás outras dúas, para ser usados en paramentos verticais, mais xa se poderían considerar sistemas dos que teñen o substrato en posición vertical. Outra maneira de dispoñelos é colocando uns sobre outros, con estruturas para soportalos ou ben manténdose polo seu propio peso (estes últimos adoitan ser máis voluminosos)

Non teñen por que ter vexetación en todas as súas caras, de feito, adoitan ter algunha cara sen vexetar por estar en contacto cun paramento ou con outro gabión.

Son sistemas semellantes aos de disposición vertical, mais adoitan ser máis voluminosos.



Imaxe 20: Módulos estilo gabións, da empresa AIR-GARDEN, con todas as caras vexetadas, excepto a base. (fonte: Air Garden, 2015a)

Particularidades:

- x Custos iniciais: **medios-altos**

Similares aos de substrato en vertical.

- ◆ Custos mantemento: **medios**

Igual que os de substrato en vertical, este tipo de sistemas teñen menores custos en irrigación ca os sistemas sen substrato, xa que non

dependen absolutamente da fertirrigación. Ao seren moi voluminosos, poden acumular certa cantidade de auga e nutrientes, polo que adoitan ser algo máis económicos de manter ca os sistemas de substrato vertical. En comparación cos sistemas co substrato en horizontal, si que adoitan ter sistemas de irrigación, aínda que máis simples ca os de substrato en vertical.

x Complexidade: **baixa-media**

Non teñen gran complexidade técnica, e non fan falta grandes coñecementos para facer o seu mantemento. Adoitan ter sistemas de irrigación, pero non moi complexos.

✓ Tempos de instalación e restitución de especies: **baixo-medio**

Igual que os sistemas de substrato en vertical, estes sistemas non soportan especies moi grandes, polo que fai máis doada a súa restitución.

x Durabilidade: **media-alta**

Polo xeral, os sistemas con substrato limitado poden ser menos duradeiros que os demais sistemas, xa que se pode acabar o contido de nutrientes, moito máis difíciles de restituír ca a auga. Aínda que estes sistemas, ao acostumar ter grandes volumes de substrato, poden ter durabilidades algo maiores que os demais sistemas con substrato.

◆ Diversidade de especies: **media-alta**

Semellante aos sistemas de substrato en vertical. Poden soportar especies maiores ca os deste tipo, xa que poden ser cultivadas coma nos sistemas de substrato en horizontal, mais isto implicaría incrementar máis o seu xa alto peso.

✓ Continuidade: **media-alta**

Este tipo de sistemas poden ter plantas en toda a superficie, así como en máis dunha superficie. Por tanto, poden albergar plantas sen deixaren ocos. O problema é que ao seren sistemas pesados, non son aptos para cubriren grandes alturas.

x **Peso: alto-moi alto**

Son sistemas dos máis pesados. O seu peso depende do tipo de substrato, do volume e da saturación de auga, mais, polo xeral, son os máis pesados dentro dos sistemas máis pesados (os que conteñen substrato).

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: os sistemas modulares de Air Garden (Air Garden, 2015a).

Neste caso analizaremos o conxunto formado polo entramado de postes AG Postdiv (sistema de postes para crear divisións entre parcelas, que permiten plantar nas dúas caras), xunto coas cestas modulares AG Cestruct, así como o sistema de rega AG Riego. Este sistema está deseñado para realizar divisións vexetadas nas dúas caras, sen estaren suxeitadas sobre paramento ningún, senón que se ancoran ao chan.

- **Soportes AG Postdiv**

Sistema de postes divisorios, de aceiro ou aceiro inoxidable, de sección cadrada de 80x80 mm e 2 mm de espesor. As alturas son variables en función do número de ringleiras de cestas que se pretenda instalar (1,79, 1,22 e 0,66 m para 3, 2 ou 1 ringleiras respectivamente). Poden ser instalados tanto en terreo firme, no que só é necesario ancorar a base telescópica, coma en terreos soltos, mediante o uso dunha zapata de aceiro dispoñible para estes casos. Os montantes instálanse debidamente achumbados, e cunha separación entre eles duns 1,06 m, para poder instalar posteriormente a cesta estándar de 1 m (aínda que existen outras medidas) e mais o par de ancoraxes dispostas a cada lado, que requiren un espazo duns 3 cm cada un (aínda que ao seren roscados pódese variar esta distancia). Os postes levan aloxados no interior uns distribuidores de rega para dárenlles continuidade aos tubos, existindo varios tipos, como o de acometida e o final, o de continuidade lineal, así como outros deseñados para dar continuidade en caso de cambios de dirección ou encontros a 90° (en L, T ou X). Tamén dispoñen dun tubo guía para cables por se se queren engadir

sistemas de iluminación (como o sistema AG Lux Postdiv, adaptado a este sistema).



Imaxe 21: Tipos de soporte: final, de cruz, en T, de esquina, lineal, e de acometida (fonte: (Air Garden, 2015a))

- Cestas AG Cestruct

Están dispoñibles distintos tipos de cestas modulares contedoras de substrato, en aceiro ou aceiro inoxidable, así como estruturas para enredadeiras, tamén modulares. As dimensións estándar (aínda que existen con outras lonxitudes) son 1000x500x130 mm. Dispoñen de diversos orificios por onde poder inserir as ancoraxes, en función do tipo de montante utilizado. Neste caso, inseriranse as ancoraxes nos orificios dos extremos, xa que as bandexas irán situadas entre os postes (e non sobre eles, coma outros tipos). Tamén se contempla a posibilidade de ter que termar dos tubos de rega.



Imaxe 22: Exemplo de cesta modular. Obsérvanse as dúas ancoraxes listas para parafusar aos soportes, así como os orificios para introducir estas ancoraxes no caso de usar outro sistema de soporte (fonte: (Air Garden, 2015a))

- Sistema AG Riego

Esta parte comprende os tubos de rega por goteo de Ø13, perforados cada 15 cm que logran un goteo homoxéneo de caudal 1l/h, un sistema de bandexas para poder recoller a auga sobrante e conducila cara a un depósito para poder reutilizala, así como un módulo especial semellante a una cesta calquera do sistema, onde van integrados a chave de paso, o filtro, o regulador de presión e o programador, de ser necesario.



Imaxe 23: Módulo especial para a conexión do sistema de rega (fonte: Air Garden, 2015a)

Unha vez montado o sistema de soporte (coas súas ancoraxes, 4 de suxeición e mais dúas de soporte das canles de rega por cada cesta) e o de rega (no que necesitaremos pezas coma cóbados, unións, reguladores, filtros, topes, chaves de paso etc., en función da distribución concreta), só queda introducir as sacas de rafia co substrato no seu interior, e introducir as plantas nelas practicando pequenos orificios. Existe tamén un perfil para suxeitar ben as sacas pola parte superior, deixándoas abertas para poder plantar tamén nese plano sen molestias nin necesidade de realizar cortes.



Imaxe 24: Detalle da unión dunha cesta co soporte. Obsérvase a ancoraxe cesta-soporte, a unión do tubo de rega, as sacas coas plantas, así como o perfil que axuda a mantelas abertas (fonte: Air Garden, 2015a)

Un sistema deste tipo, de dúas ringleiras de alto, e composto de montantes, cestas e sistema de rega totalmente funcional, xeralmente ten uns custes (sen contar man de obra) superiores a 600 €/m² e un peso que adoita ser maior de 70 Kg/m² (Air Garden, 2015b).

Este sistema, se ben é de substrato en disposición tridimensional (xa que pode albergar vexetais tanto polas dúas caras maiores de cada módulo como tamén noutras direccións), ten unha forte tendencia a un plano en concreto, a diferenza da maioría de sistemas deste tipo, onde non se lle dá tanta preferencia a unha dirección en concreto.

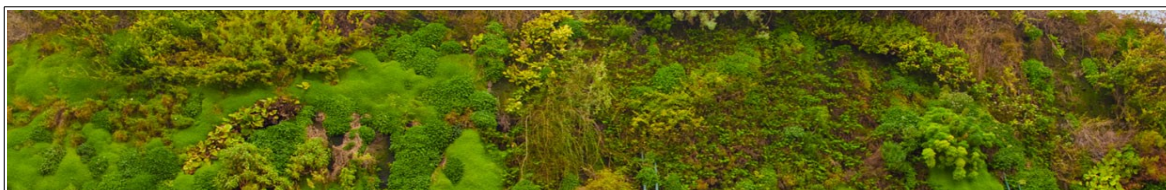


Imaxe 25: Aspecto final dun sistema deste tipo, de dúas ringleiras. Utilizáronse dúas cestas de tamaño non estándar (fonte: Air Garden, 2015a)

2.4.2.2. SEN SUBSTRATO (SISTEMAS HIDROPÓNICOS)

Este tipo de sistemas baséanse no feito de que as plantas absorben os minerais que necesitan por medio de ións inorgánicos disoltos na auga. Neste senso, a función do solo e do substrato é a de contedor deses nutrientes, mais este contedor non é imprescindible, pois o importante é que o contido (os minerais e o osíxeno) chegue ás plantas de forma satisfactoria. Por tanto, estes sistemas dependen da auga e dos seus nutrientes, polo que se poderían denominar hidropónicos todos os tipos incluídos neste apartado. Mais, debido as grandes diferenzas entre eles, dividiremos estes sistemas en hidropónicos (no seu sentido máis estrito) e aeropónicos.

2.4.2.2.1. Hidropónico



Xeralmente, este tipo de sistemas diferéncianse dos que teñen substrato nos seguintes aspectos: teñen semellantes custos iniciais, incluso algo menores ca moitos de tipo de substrato en vertical, maiores custos de mantemento, son sistemas máis complexos, máis lixeiros, e neles as plantas medran máis rápido. Ao careceren de solo, dependen totalmente dos sistemas de fertirrigación, e calquera fallo no subministro podería implicar a morte case inmediata das plantas (aínda que poden ter elementos para mellorar a súa “inercia hídrica”). A maiores, as raíces das plantas están menos protexidas, polo que soportan peor as xeadas.

Como xa vimos, a hidroponía consiste en alimentar as plantas mediante a disolución na auga de todos os nutrientes que necesiten. No sentido máis estrito, no que a este apartado se refire, a hidroponía consiste en manter o sistema radicular das plantas en disolucións de minerais en auga. Os sistemas hidropónicos son sistemas nos que as plantas se fornecen dunha solución nutritiva controlada disolta na auga, na que teñen que estar presentes todos os nutrientes que a planta necesita. Xeralmente carecen de substrato, mais nalgúns casos utilízanse materiais sólidos (lá de rocha, perlita, fibra de coco, pedra pómez, escumas sintéticas...) para cumprir funcións distintas ás de achegar nutrientes (tales como soporte, protección, distribución e almacenamento da solución...), pois o que caracteriza á hidroponía é o traballo («πόνοϋ» [*ponos*]) realizado pola auga («ύδρο» [*hidro*]), correctamente osixenada e coa disolución de nutrientes axeitada. Este tipo de sistema é apto para case todo tipo de planta terrestre, aínda que algunhas se adaptan mellor ao sistema ca outras.

Os sistemas hidropónicos atópanse en auge actualmente, especialmente como sistemas de produción de vexetais para uso alimentario, debido

principalmente á súa alta produtividade, grande aproveitamento de recursos e a facilidade para poderen ser implantados en case calquera lugar.

Pódense clasificar en **pechados ou abertos**; ou en **estáticos ou dinámicos**.

- Os **sistemas pechados** ou recirculantes caracterízanse por teren un fluxo de solución nutritiva que, unha vez que chega á fin do seu ciclo dentro do sistema, volve ao punto de partida, para dar comezo a outro ciclo. Nos **sistemas abertos**, en cambio, non existe ese retorno da solución nutritiva, senón que os sobrantes ou ben rematan fóra do sistema, ou ben non chegan a rematar o ciclo.

Aínda que os sistemas pechados requiren unha maior inversión inicial (necesitan un sistema de retorno do que os sistemas abertos carecen) e un maior control sobre a solución (é necesario controlar periodicamente o equilibrio de nutrientes, osíxeno, pH e elementos patóxenos para poder corrixir os desaxustes que se vaian orixinando co paso dos ciclos; problema do que os sistemas abertos carecen, pois a solución é nova en cada aplicación), son os que están a ser máis utilizados por ser máis eficientes no uso dos recursos e por ter un menor impacto ambiental ao non verter ao medio os excedentes.

- Os **sistemas estáticos** son aqueles nos que a solución nutritiva permanece estática, mentres que os **sistemas dinámicos** se caracterizan polo constante fluxo da solución.

Os sistemas estáticos consisten en superficies inundadas con solucións nutritivas, sobre as que se dispoñen as plantas. Un exemplo claro deste tipo de sistema é o método de raíz flotante, no que as plantas se sitúan en ocos dispostos nalgún elemento de pouca densidade (por exemplo, pranchas de polistireno expandido) que se dispoñen flotando no líquido, de xeito que as raíces fican somerxidas na solución mentres que o resto da planta permanece exposta. Pola contra, os sistemas dinámicos caracterízanse por teren a solución en movemento, e neles a solución é subministrada nun ou varios lugares, para posteriormente ir desprazándose por todo ou parte do sistema.

Os sistemas estáticos, ao se fundamentaren na disposición superficial

de plantas sobre volumes de líquidos, posúen intrinsecamente unha natureza horizontal. Aínda que se podería acadar un sistema vexetal vertical superpondo varios destes elementos (o suficientemente estreitos como para poder ser considerado un sistema vertical e non un volume), o feito de que estes sistemas estean concibidos para unha ampla superficie horizontal fai que os custos unitarios sexan moito maiores. Esta é unha das razóns polas que os sistemas estáticos non son usados en sistemas vexetais verticais.



Imaxe 26: Exemplo de cultivo de leitugas en sistemas estáticos: método de raíz flotante . (fonte: Hidroponia Argentina)

Por tanto, os sistemas que adoitan usarse na construción son de tipo pechado e dinámico.

Os sistemas hidropónicos poden ser moi semellantes aos sistemas con substrato. Simplemente trocando o substrato orgánico destes por un substrato inerte dos que se usan en sistemas hidropónicos (e coa obriga de instalar un sistema de fertirrigación), poderíanse crear sistemas moi parecidos. Mais desta forma estaríamoslle engadindo aos sistemas hidropónicos a desvantaxe do alto peso dos sistemas con substrato. Por tanto, os sistemas hidropónicos con elementos sólidos a modo de substrato non se usan moito en sistemas vexetais verticais, e o seu uso queda restrinxido a sistemas horizontais,

especialmente para a produción de alimentos.

Podemos distinguir dous **tipos de sistemas hidropónicos utilizados en sistemas vexetais verticais**, en función do método para distribuír a solución nutritiva:

- **Lineal:**



Imaxe 27: Sistema hidropónico lineal caseiro, feito con botellas de plástico (fonte: Agrounica)

Neste tipo de sistemas, as plantas dispóñense ao longo dunha ou varias canles de rega, por onde discorre a solución nutritiva, que debe entrar en contacto coas raíces. A solución é subministrada xeralmente de forma continua, mais pode ser intermitente (ou incluso periódica, de ter elementos que reteñan a solución). O habitual nestes sistemas é que a solución sexa subministrada nas canles na parte máis alta, e que discorra por gravidade ata chegar á parte máis baixa. Unha vez abaixo, a solución acumúlase nun depósito para o seu control, e logo bombéase a través duns tubos á parte alta das canles. Por tanto, adoita haber varios

tipos de condutos: os principais, as canles onde están situadas as plantas; e os outros condutos, que levan a solución desde o fin das canles ata o depósito, e desde o depósito ata o inicio das canles de rega.

A este apartado pertencen os coñecidos sistemas NFT (*Nutrient Film Technique*), que se basean na circulación continua (ou intermitente, mais cunha alta frecuencia) dunha lámina de solución nutritiva a través das raíces de cultivo. Aínda que o que caracteriza estes sistemas é a existencia desa lámina de líquido e non a linealidade, na práctica estes sistemas son lineais, para manteren mellor as condicións da lámina. As plantas nestes sistemas non desenvolven as raíces en ningún elemento sólido, simplemente están suxeitas na parte superior da canle de cultivo, mantendo as raíces en contacto coa película que discorre por esa canle.



Imaxe 28: Sistema hidropónico NFT nunha autoestrada na Arxentina
(fonte: Clarín, 2010)

Estes sistemas utilízanse moito para a produción de alimentos e a floricultura, mais teñen un uso menor na construción.

- **Superficial:**

Neste caso, as plantas non se dispoñen en elementos lineais, senón que se colocan nunha superficie. Para un mellor reparto da solución

nutritiva, estes elementos superficiais teñen que permitir que a auga cos nutrientes disoltos se distribúa por capilaridade. Desta forma, a solución nutritiva é distribuída nunha primeira instancia por un entramado de tubos que verten a solución sobre a superficie, para que logo sexa a propia superficie a que, por capilaridade, logre repartir o líquido de forma uniforme. Na parte baixa (ben do módulo ou ben da totalidade do sistema) dispóñense elementos para recoller o líquido sobrante, que nos sistemas pechados será acumulado nun recipiente para o seu control, para posteriormente volver ser aplicado. Os materiais usados nestes sistemas son láminas de feltro, lá de rocha, escumas sintéticas e outros materiais que sexan lixeiros, así como porosos ou fibrosos, para que a auga se distribúa por capilaridade por eles. A solución nutritiva nestes sistemas adoita ser subministrada de forma periódica, xa que os materiais usados tenden a reter a humidade, polo que non necesitan unha continua administración de líquido.



Imaxe 29: Montaxe caseiro dun sistema hidropónico superficial. (fonte: Ikonta, 2006)

Unha variante en desenvolvemento dos sistemas hidropónicos é o chamado

formigón biolóxico, consistente en un sistema de tres capas de formigón sobre a capa estrutural (4 capas en total), deseñadas para albergar formas de vida como liques ou musgos, así como outros organismos. Para este fin modificouse tanto o pH do formigón (utilizando cementos de fosfato de magnesio), coma outros parámetros coma a porosidade e a rugosidade superficial, para facilitar que este tipo de organismos se instalen e prosperen aí. As capas verticais consisten nunha primeira capa interna, sobre a capa estrutural, que achega impermeabilización; a segunda capa intermedia, que retén auga e fomenta a colonización; e a capa final, que permite a entrada de auga, máis non tanto a saída, para poder manter a capa intermedia nunhas condicións hídricas aptas para estas especies (UPC, 2012).

Particularidades:

x Custos iniciais: **medios**

Algo menores ca os de substrato en vertical, xa que ten unha instalación moito máis doada debido a que os elementos son moito máis lixeiros e doados de instalar, así como a que necesitan estruturas portantes máis sinxelas. Pola contra, os sistemas de fertirrigación son indispensables.

x Custos mantemento: **moi altos**

Estes sistemas dependen absolutamente da fertirrigación, polo que necesitan sistemas de rega complexos, con control da cantidade dos nutrientes presentes na auga. Nestes sistemas as plantas teñen todo o que necesitan máis accesible, polo que poden investir menos enerxía para se alimentaren. Por tanto, poden medrar moito máis rápido ca nos sistemas con substrato. Se ben isto é positivo para a produción de alimentos e para a floricultura, en sistemas vexetais verticais implica máis custos de mantemento para controlar a cantidade de biomasa.

x Complexidade: **moi alta**

Teñen gran complexidade técnica, e fan falta grandes coñecementos para realizar o seu mantemento, coma o control da solución de nutrientes, do pH, da condutividade, das pragas... Calquera fallo no sistema de fertirrigación ten efectos a moi curto prazo. Pode trocarse o

pH en función das necesidades.

- ✓ Tempos de instalación e restitución de especies: **baixo-medio**

Igual ca os sistemas de substrato en vertical, estes sistemas non soportan especies moi grandes, o que fai máis doada a súa restitución.

- ✓ Durabilidade: **alta**

A durabilidade deste tipo de sistemas adoita ser alta, sempre e cando o mantemento sexa o correcto. As especies adoitan ter que restituírse con máis frecuencia ca noutros sistemas, mais o sistema como conxunto pode durar máis, xa que os nutrientes son ilimitados.

- ◆ Diversidade de especies: **media**.

Semellante aos sistemas de substrato en vertical, aínda coa diferenza de que, ao teren as plantas as raíces máis expostas, toleran peor as xeadas, polo que certas especies son máis sensibles a seren instaladas nestes sistemas.

- ✓ Continuidade: **alta**

Este tipo de sistemas poden albergar plantas sen deixaren ocos en toda a superficie, agás os sistemas lineais, moito menos utilizados na construción.

- x Peso: **baixo**

Xeralmente, son sistemas bastante lixeiros. Ao non teren substrato, adoitan ter menos peso ca os sistemas que si o teñen.

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: o sistema de xardín vertical hidropónico de Patrick Blanc (Blanc, -c).

Baséase na capacidade das raíces plantas para medraren non só nun volume de solo, senón tamén sobre unha superficie. O sistema é moi lixeiro, e pódese aplicar sobre diversos paramentos, tanto en exteriores como interiores. As plantas utilizadas terán que estar adaptadas ao medio escollido.

Componse principalmente de tres partes: unha estrutura metálica de soporte,

unha capa de PVC e unha capa a base láminas de feltro.

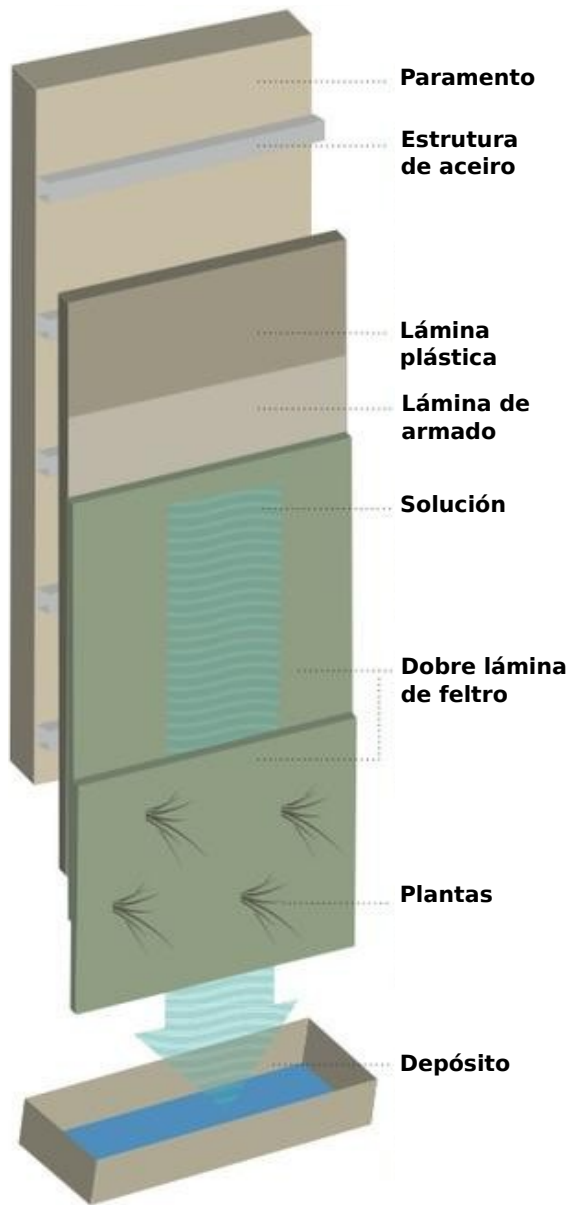


Ilustración 9: Componentes do sistema hidropónico de p. Blanc (fonte: Shevory, 2010)

A estrutura metálica xeralmente ancorase a un paramento existente (mais tamén pode ser autoportante). Proporciona unha cámara de aire que fai mellorar as propiedades térmicas e acústicas.

A lámina de PVC, de 1 cm de espesor, vai remachada sobre a perfilaría metálica. Esta capa achégalle cohesión ao sistema, e serve para evitar o paso de auga, así como de raíces, cara ao paramento, evitando que poida ser danado.

A seguinte capa é a do medio de cultivo, a base de dúas láminas de feltro de poliamida, que de ter que soportar moito peso debe de ser armado. Estas láminas son grampadas sobre o PVC e entre elas. Este feltro é imputrescible e de alta capilaridade, polo que permite unha distribución homoxénea da auga. Entre esas dúas láminas é onde se sitúan as plantas, e por onde estenden o seu sistema radicular. As plantas poden ser incorporadas como sementes, esgallos ou ben xa adultas, facendo un orificio na primeira lámina de feltro. O sistema de rega tamén se distribúe por este lugar.



Imaxe 30: Detalle da montaxe das plantas nas láminas de feltro, nun sistema deste tipo instalado no Parc Floral de París (fonte: aguaribay, 2005)

Recoméndase utilizalo aproveitando as augas grises, mais necesita unha achega de nutrientes canda a auga. No fondo do sistema sitúase un recipiente onde a auga sobrante é recollida, para ser bombeada de novo dentro do sistema (de ser necesario, tamén se corrixe a cantidade de nutrientes da solución). As canalizacións distribúense de forma que se garanta que a auga sexa distribuída polo feltro de forma uniforme, polo que os tubos perforados que conforman o sistema de rega por goteo (distribuídos horizontalmente) non adoitan separarse máis de 4 m en altura. As plantas pódense repor engadindo máis láminas de feltro grampadas sobre as anteriores. O peso total do sistema estímase en 30 kg/m².



Imaxe 31: Aspecto final dun xardín vertical utilizando este sistema, situado no Quai Branly Museum de París (fonte: Blanc, -b)

2.4.2.2.2. Aeropónico



A aeroponía consiste en manter o sistema radicular das plantas ao aire, mais en medios cunha alta cantidade de auga. Pode ser considerado un tipo de hidroponía, pois tamén se basea en lles dar os nutrientes que as plantas necesitan a través da auga.

En contornos pechados e ben controlados, este tipo de sistemas son apto para unha gran cantidade de especies, e utilízanse con éxito para a produción de alimentos, xa que acadan unha gran produtividade. Pola contra, o seu uso na edificación é moito máis limitado. Para o seu uso como sistema vexetal vertical, é necesario escoller especies vexetais específicas, como son as especies aéreas ou epífitas.

As **plantas epífitas** son especies que están adaptadas a vivir lonxe do solo e obteñen o necesario para vivir da humidade do aire e da choiva. Desenvolveron distintos elementos que lles permiten captar, absorber e almacenar auga, así como evitar a súa perda e a dos nutrientes disoltos nela.

Algunhas destas modificacións son: a disposición das follas en roseta (o que permite reter o líquido e levalo cara ao centro), o desenvolvemento de suculencia ou engrosamento das follas (para poder almacenar auga), formación de cavidades chamadas domacios, facilitándolles a vida a certos insectos coma as formigas (desta forma as plantas poden absorben vía paredes celulares o nitróxeno producido polos refugallo que estes insectos deixan nesas cavidades), desenvolvemento dunha cutícula máis grosa (evitando que parte da auga se evapore a través dela, e así tendo maior control da transpiración a través dos estomas), desenvolvemento de tricomas (elementos como escamas, pelos, papilas que desempeñan diversas funcións nas plantas, neste caso axudan a captar e reter a auga) así como de velame (un tecido de células mortas que cobre as raíces, con funcións como a de reter auga e impedir a súa perda), desenvolvemento de tecidos específicos para

reter auga (como a hipoderma ou parénquimas acuífero, habituais en plantas suculentas). Mais a principal perda de auga é a través dos estomas. Tendo en conta que as maiores temperaturas se acadan durante o día, moitas destas plantas desenvolveron un tipo de metabolismo (chamado metabolismo ácido das crasuláceas) que lles permite abrir os estomas para realizar o intercambio de gases pola noite, e así minimizar as perdas de auga. Outra estratexia que utilizan é a simbiose con fungos das súas raíces, que lles permiten incrementar a absorción tanto de auga como dalgúns nutrientes, a cambio de produtos da fotosíntese (Ceja et al., 2008).



Imaxe 32: Exemplar de Tillandsia
(fonte: Flora Grubb Gardens)

As epífitas máis coñecidas son os musgos, liques, orquídeas, fentos e bromelias (como a Tillandsia), aínda que se poden atopar en todos os grupos do reino vexetal. As especies de Tillandsia é un xénero de plantas epífitas con máis de 650 especies, procedente de América. En Galicia é habitual velas nas entradas das vivendas, colgando das cancelas ou similares, xa que usan para espantar as meigas. Son as que máis se usan en sistemas vexetais deste tipo.

As plantas fíxanse nun principio con mallas, ganchos, ben atadas, ou incluso con adhesivos específicos. Posteriormente, desenvolven raíces coas que se poden adherir a certas superficies.

Se ben no seu hábitat natural obteñen todo o necesario para viviren sen necesidade de intervención humana, ao seren usadas en sistemas vexetais verticais si poden ter certas necesidades, tanto de auga (polo que se adoitan usar pulverizadores como sistema de rega; en interiores adoita ser suficiente 2-3 pulverizacións por semana, en exteriores necesitan máis, en función do lugar e a climatoloxía) como de nutrientes (existen fertilizantes específicos para este tipo de plantas, mais poden valer moitos dos fertilizantes solubles en auga). Xeralmente, non toleran grandes exposicións á luz directa do Sol, especialmente nos veráns.



Imaxe 33: Marco para o uso de epífitas en interiores. As plantas suxeítanse cunha simple malla. (fonte: Rosen)

Particularidades:

- ✓ Custos iniciais: **baixos**

Semellantes aos sistemas hidropónicos, mais coa diferenza de que non teñen a obriga de teren sistemas de rega ou fertirrigación.

- ◆ Custos mantemento: **baixos-medios-altos**

En principio, sempre e cando as condicións ambientais sexan óptimas, estes sistemas poden non necesitar case coidados. De non ser así, poden chegar a necesitar fertirrigación, polo que necesitan sistemas de rega complexos, con control da cantidade de nutrientes presentes na auga, aínda que, a diferenza dos sistemas hidropónicos puros, existe maior marxe de erro no seu mantemento.

- ◆ Complexidade: **media**

Non teñen gran complexidade técnica, pois as plantas usadas nestes sistemas están acostumadas a vivir con moi poucos recursos, polo que poden non necesitar sistemas de rega en función do medio no que se localicen. Non son plantas voluminosas, polo que o soporte tampouco require especial complexidade. A complexidade deste sistema radica na selección das especies correctas para cada ambiente, xa que reciben os nutrientes da auga presente no aire. Adoitan ser necesarios sistemas de rega mediante pulverizadores para manter as especies en condicións óptimas en períodos secos.

- ✓ Tempo de instalación e de restitución de especies: **baixo**

Estes sistemas non soportan especies moi grandes, nin son tecnicamente moi complexos, á vez que as especies son ancoradas de forma doada, mediante ganchos, adhesivos específicos ou ben atadas, polo que a súa restitución é moi doada, á vez que rápida.

- ✓ Durabilidade: **media-alta**

A durabilidade deste tipo de sistemas adoita ser alta, sempre e cando as especies estean no ambiente óptimo e se restitúan as que vaian secando.

- ✗ Diversidade de especies: **moi baixa**

Moi limitada ás especies epífitas.

- ✓ Continuidade: **alta**

Este tipo de sistemas poden albergar plantas sen deixaren ocos en toda a superficie.

- ✓ Peso: **baixo**

Xeralmente, son sistemas bastante lixeiros. Ao non teren substrato, adoitan ter menos peso que os sistemas que si o teñen.

Exemplo:

Neste apartado analizaremos un exemplo de sistema deste tipo: o sistema Nébula de Urbanarbolismo (Urbanarbolismo).

Este sistema está formado por plantas aéreas do tipo tillandsias. As principais vantaxes deste sistema é que necesitan un mantemento mínimo, pois pódense manter as plantas mediante pulverizacións manuais ou mediante a instalación dun sistema de nebulizadores, o que fará as pulverizacións de forma periódica, en función das necesidades. É un sistema apto para interiores, así como para exteriores cun clima e cunha orientación aptas.

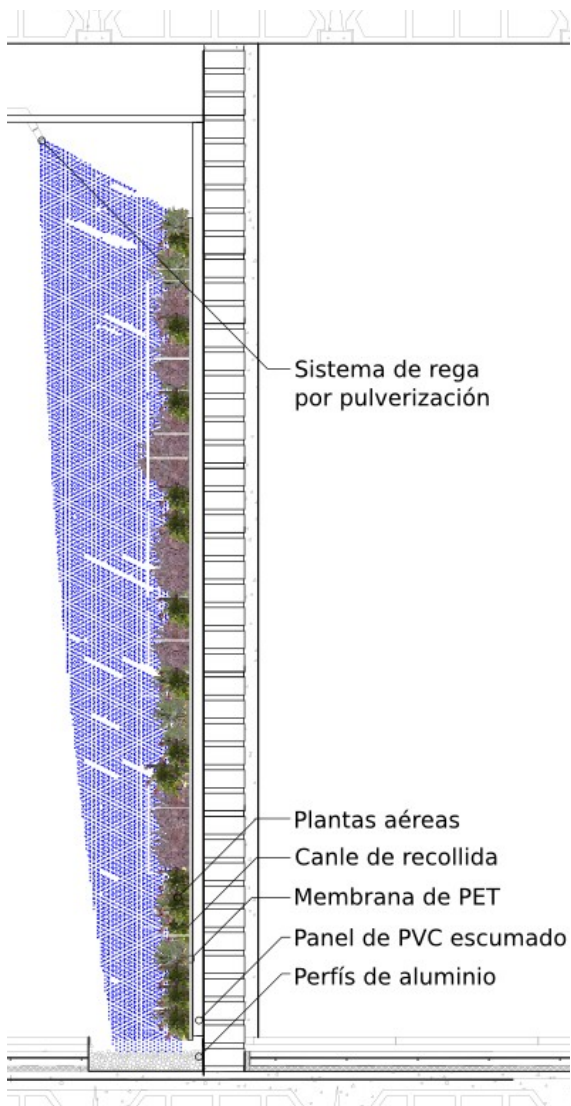


Ilustración 10: Vista en sección do sistema nébula
(fonte: Urbanarbolismo)

Este sistema consta dunha estrutura de soporte de perfís de aluminio de 40x20 mm dispostos en vertical, e ancorados ao paramento.

Sobre estes perfís dispóñense unhas pranchas de PVC escumado cubrindo toda a superficie. Estas pranchas son lixeiras, mais teñen unha boa resistencia.

Sobre estas pranchas dispóñense as plantas de tipo tillandsia, suxeitadas mediante unha membrana téxtil de tereftalato de polietileno (PET).

Na parte superior frontal é onde van instalados os distintos pulverizadores. O seu número, así como a súa separación, depende do modelo concreto, mais hai que se asegurar de que abrangan toda a superficie vexetada.

Na parte inferior dispónse unha canle de recollida do exceso de auga.

2.5. CONCLUSIÓN

2.5.1. ANÁLISE DAS PRESTACIÓNS

As prestacións dos sistemas vexetais verticais dependen moito do sistema concreto, xa que existen unha gran variedade de tipos. Unha vez analizadas as características e tipoloxías dos sistemas, poderíamos chegar a unha serie de conclusións xerais:

- Mostran un bo comportamento canto á eliminación de contaminantes. Hai que ter en conta que o comportamento dunha especie de planta pode ser positivo ou non fronte un tipo concreto de contaminante, xa que non todas os absorben por igual, incluso algunhas poderían non resistir ese medio contaminado. É dicir, que un sistema no que se utilicen plantas sen coñecer a capacidade de cada unha delas para absorber contaminantes, podería non ter os beneficios xenéricos que se lles supoñen aos sistemas vexetais verticais neste senso. Un bo exemplo disto é o comportamento da planta *Dracaena deremensis* (ver táboa 2), xa que, se ben acadou bos resultados fronte algúns contaminantes, tamén demostrou que a súa capacidade para absorber o tricloroetileno é nula. Tamén hai que ter en conta que, se ben moitos contaminantes son metabolizados e transformados en elementos menos tóxicos, algúns dos contaminantes captados só son acumulados e tornarán ao ambiente na mesma forma maliciosa unha vez a planta morra, a non ser que se traten convenientemente. O dióxido de carbono é un bo exemplo disto. Aínda que as plantas o absorben en grandes cantidades, este volverá ser liberado no medio, ben pola propia respiración da planta, ou ben unha vez a planta pereza e o carbono dos seus tecidos sexa liberado na descomposición destes. Se ben as plantas poden combinar o carbono en compostos que son exsudados, comprobamos que o que fai eficaz as plantas como eliminadores de dióxido de carbono é a súa capacidade para almacenaren carbono no solo, feito que neste tipo de sistemas ocorre de forma moi feble.

- Os sistemas vexetais verticais tamén mostraron ter unhas boas prestacións canto á mellora das condicións acústicas. Se ben non semellan ser uns illantes acústicos distinguidos, si que se pode destacar a súa capacidade para acondicionar acusticamente un recinto, xa que melloran os tempos de reverberación e esvaen os sons.
- Canto aos efectos térmicos, tratamos 4 aspectos: o illamento térmico, a inercia térmica, a refrixeración mediante a evapotranspiración e o quecemento a través da radiación solar.

O **illamento térmico** refírese á distribución espacial da calor, evitando que entre ou saia dos espazos en función do que interese. A **inercia térmica** refírese máis ben a unha distribución temporal da calor, facendo que a súa intensidade sexa menor nos momentos máis calorosos, para despois ser liberada noutros momentos menos calorosos. Aínda que estes aspectos inflúen na calor dun espazo concreto, a cantidade de calor global é a mesma, só que repartida de distinta forma.

Canto aos outros dous aspectos térmicos, os seus efectos si inflúen na cantidade de calor, e os dous na mesma liña, ben evitando que se produza ou ben reducindo a xa existente. Por unha banda, a **protección fronte ao sol** evita que se produza máis calor utilizando as plantas esa enerxía (aínda que parte dela tamén é reflectida, polo que en parte tamén se trata dunha distribución espacial da calor), mentres que a **evapotranspiración** reduce a cantidade de calor existente ao usala para evaporar auga.

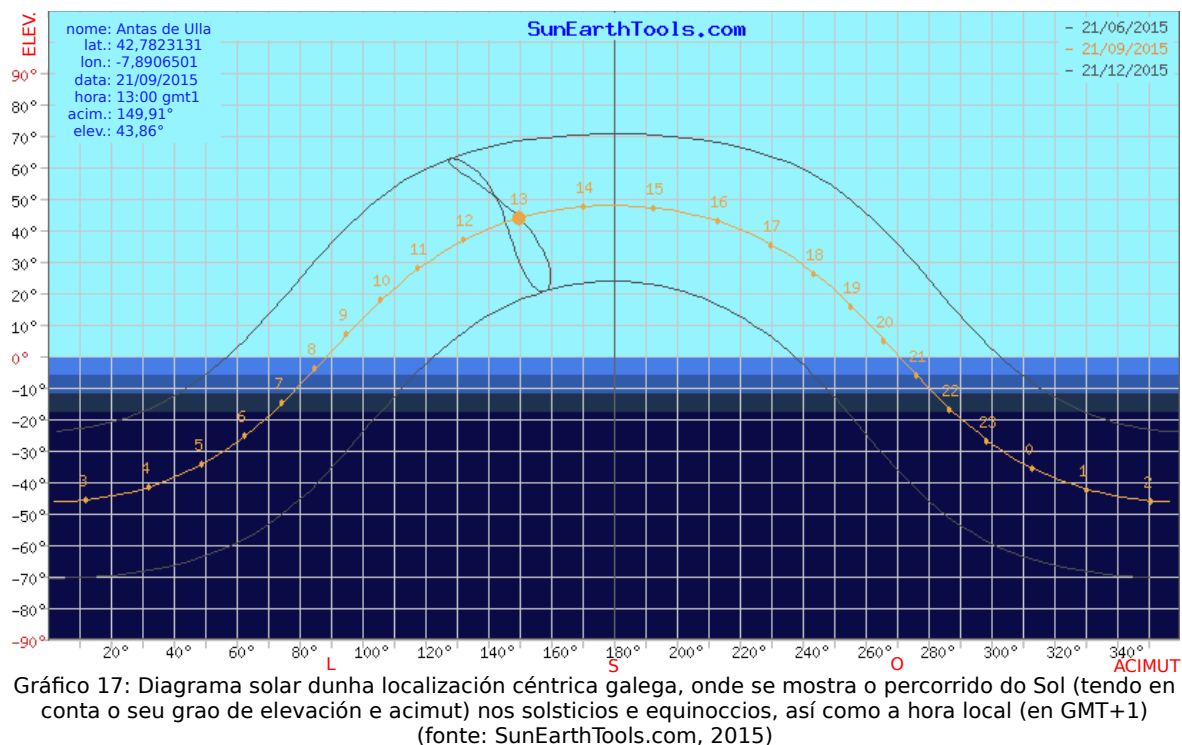
Por tanto, dous dos comportamentos térmicos dos sistemas vexetais verticais poden ser utilizados para mellorar as condicións térmicas tanto en tempo frío como cálido (illamento térmico e inercia térmica). Mais as outras dúas características só son positivas para evitar a calor (protección solar e evapotranspiración).

Isto implica que cando se pretenda combater a calor, estes catro factores son favorables. Pola contra, cando o que se pretende combater

é o frío, temos dous comportamentos ao noso favor, mais os outros dous están en contra. E tendo en conta que respecto a eses dous únicos factores positivos en tempo frío (illamento e inercia térmica) os sistemas vexetais verticais non semellan acadar rendementos significativos, podemos concluír que, respecto ao comportamento térmico, estes sistemas só teñen xustificación en climas cálidos ou no verán.

De se utilizaren igualmente os sistemas vexetais verticais nun clima temperado coma o clima oceánico de Galicia (aínda que en transición co clima mediterráneo (Martínez Cortizas, Castillo Rodríguez, Pérez Alberti, Valcárcel Díaz, & Blanco Chao, 1999)), co fin de mellorar as aptitudes térmicas do sistema, cómpre ter en conta a orientación.

A modo de exemplo, tomaremos un emprazamento galego céntrico como o é a localidade de Antas de Ulla (latitude $42,782^\circ$ norte, lonxitude $7,891^\circ$ oeste, e altitude 560 m), co fin de analizar a idoneidade da orientación dos sistemas vexetais verticais en Galicia. No seguinte gráfico (gráfico 17) móstrase un diagrama solar do lugar escollido:



Pódese observar que, no solsticio de verán, o Sol acada unha altura máxima de $70,6^\circ$ sobre o horizonte. No solsticio de inverno, en cambio,

o Sol non supera os 24° no seu momento máis alto. Nos equinoccios, o Sol chega a se levantar sobre o horizonte uns 48° como máximo. Isto implica que no inverno as superficies verticais orientadas ao sur reciben máis enerxía do Sol ca no verán, xa que o ángulo de incidencia dos raios do Sol sobre esta superficie é máis próximo á perpendicular no inverno.

As seguintes gráficas están obtidas a partir da ferramenta web *PV potential estimation utility* (JRC, 2015), para esta mesma localización. Móstranse valores medios diarios de irradiancia solar (en W/m^2) ao longo do día, nun mes de verán (xuño, á esquerda) e nun de inverno (decembro, á dereita) sobre unha superficie totalmente vertical (90°) orientada ao leste, sur, oeste e norte. As horas refírense ao día solar. En vermello — a irradiancia global supondo o ceo despexado, en azul — a irradiancia global real, e en verde — a irradiancia difusa real.

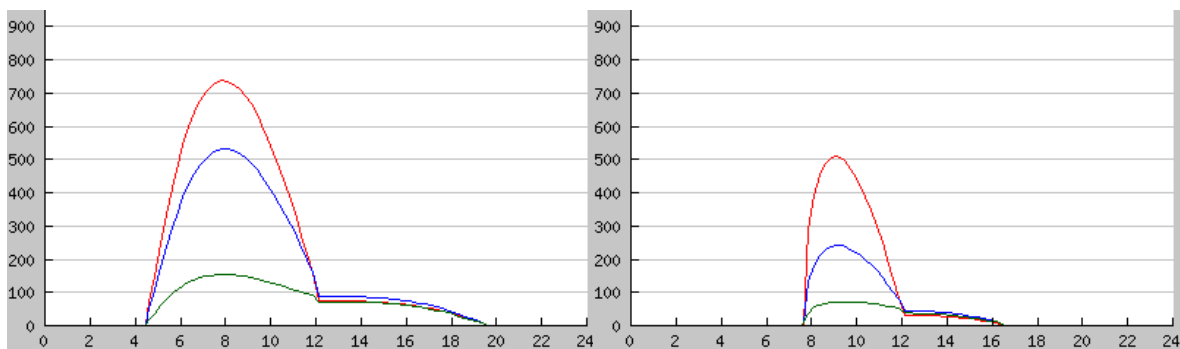


Gráfico 18: Valores medios de irradiancia para unha orientación **leste** (á esquerda verán, á dereita inverno)

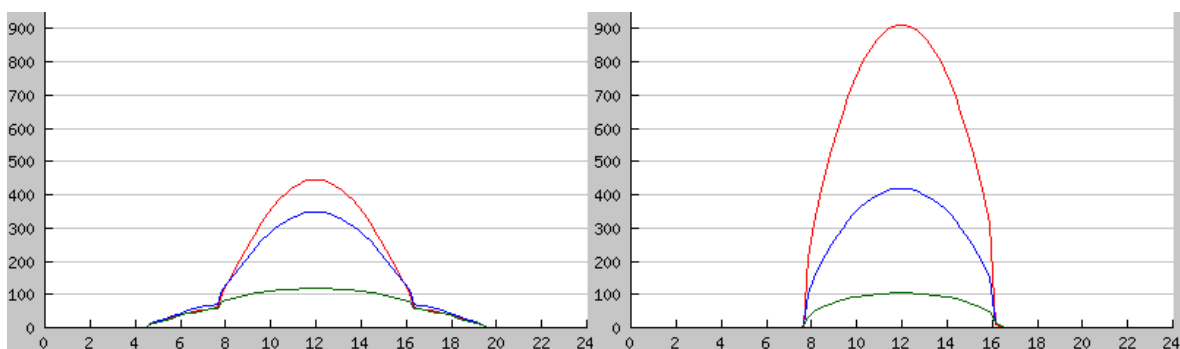


Gráfico 19: Valores medios de irradiancia para unha orientación **sur** (á esquerda verán, á dereita inverno)

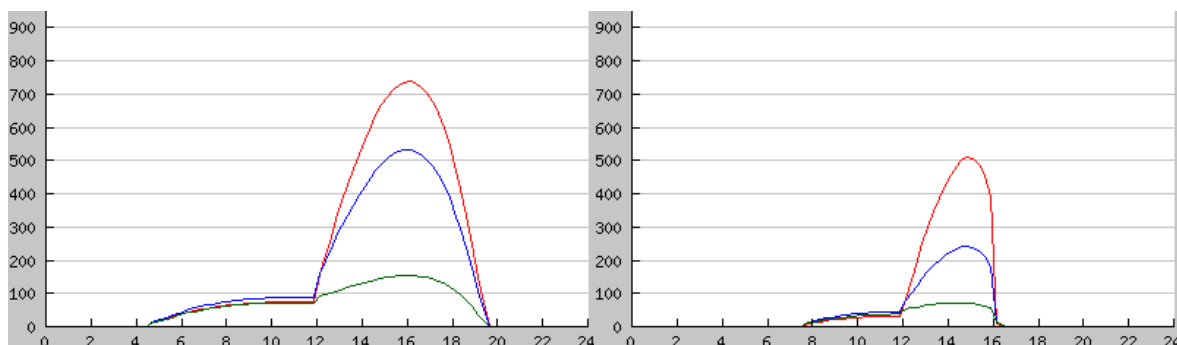


Gráfico 20: Valores medios de irradiancia para unha orientación **oeste** (á esquerda verán, á dereita inverno)

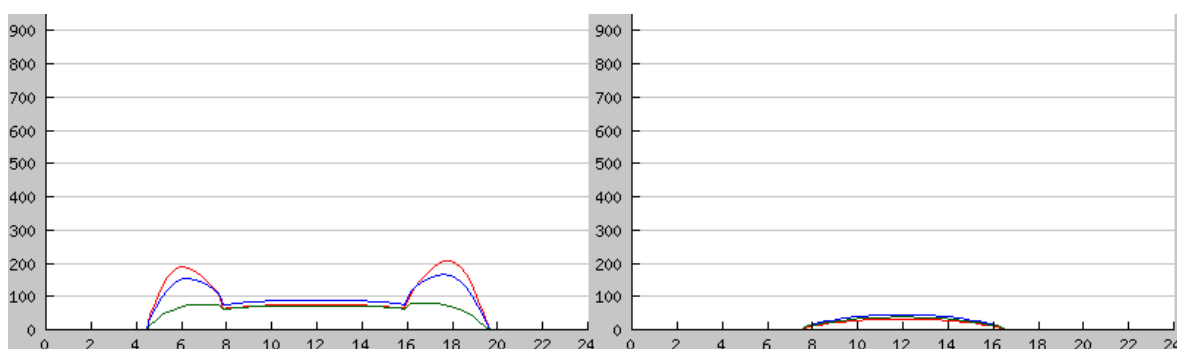


Gráfico 21: Valores medios de irradiancia para unha orientación **norte** (á esquerda verán, á dereita inverno)

Nestes gráficos móstrase que no inverno, que é cando a enerxía calorífica do Sol é benvida, as superficies orientadas ao sur son as que máis enerxía solar reciben, mentres que no verán non reciben tanta.

No verán, que é cando se trata de evitar a calor transmitida polo Sol, a maior cantidade de enerxía recíbese nas orientacións leste e oeste, mentres que no inverno non se recibe tanta calor nesas orientacións.

Por tanto, tendo en conta que o que se pretende cos sistemas vexetais verticais é minimizar a insolación no verán mentres que se maximiza no inverno, as orientacións ideais para os sistemas vexetais verticais son os paramentos orientados ao leste e ao oeste, que é onde máis calor se recibe no verán (sen sacrificar moito as ganancias caloríficas no inverno). Hai que evitar situalos ao sur, xa que é a orientación onde máis calor se recibe no inverno, mentres que no verán non se recibe tanta. Canto á orientación norte, non sería nin desfavorable nin moi favorable instalar un sistema vexetal vertical aí, xa que no inverno non chega apenas luz debido a que en ningún momento recibe luz solar

directa; e no verán pouca máis luz se recibe ca no inverno, só a primeira e última hora do día.

Outra forma de mellorar o comportamento térmico dos sistemas vexetais verticais é utilizando especies de folla caduca, xa que axudarían a evitar a radiación solar no verán, mentres que no inverno ao perder a folla non se interporían entre o Sol e os paramentos. Mais hai que ter en conta que desta forma perderíanse moitas outras cualidades do sistema, así como a propia aparencia.

A maioría das prestacións concretas dos sistemas vexetais verticais (como por exemplo illamento acústico ou térmico) poderíanse mellorar de se usaren os elementos habituais para este fin, en vez dos propios sistemas vexetais (neste caso illantes acústicos e térmicos, como fibra de vidro e polistireno expandido). Con todo, o interesante dos sistemas vexetais verticais é a súa capacidade de combinar varias melloras, polo que poden resultar unha solución interesante sempre e cando todas esas melloras sexan necesarias.

Outro factor que cómpre destacar é a importancia do substrato, xa que xoga un importante papel na mellora de moitas prestacións, tales como o illamento térmico, a inercia térmica, a absorción de contaminantes e dióxido de carbono, mellora das condicións acústicas, captación de auga da chuvia e, en menor medida, protección fronte as radiacións do Sol.

2.5.2. COMPARATIVA DOS DISTINTOS TIPOS DE SISTEMA

Neste apartado faremos unha comparativa entre cada un dos distintos tipos de sistemas vexetais verticais en función do grao de satisfacción das vantaxes xenéricas que se lles presupoñen aos sistemas vexetais verticais, analizando as particularidades que os fan bos (ou non) respecto a esas supostas vantaxes.

Os valores adxudicados nesta comparativa son principalmente relativos, xa que os sistemas son comparados entre eles mesmos. É dicir, se, por exemplo, un sistema é valorado como moi favorable no aspecto de illamento térmico, quere dicir que, comparado cos restantes tipos estudados, ese tipo de sistema en concreto ten un comportamento mellor nese aspecto, sen pretender afirmar que o seu comportamento como illante térmico é moi bo, xa que, como xa vimos, os sistemas vexetais verticais, en xeral, non son uns illantes térmicos destacados. Hai que ter en conta que ao existir unha gran diversidade de sistemas distintos, aínda dentro dunha tipoloxía concreta, estas valoracións poden ser moi xenéricas.

Enumeraremos as supostas vantaxes na orde que foron analizadas no apartado vantaxes (o apartado [2.3.1](#)):

- **Illamento térmico**

Os sistemas tradicionais, xunto cos de dobre pel, teñen unha baixa ou moi baixa (en función da especie e especialmente do índice de área foliar) capacidade de illar termicamente, xa que só se basea na redución da velocidade do vento próxima ao paramento. Os sistemas con substrato en disposición horizontal, ademais destas propiedades, tamén dispoñen de substrato, mais dunha forma descontinua, polo que non son moito mellores. Moitos dos sistemas co substrato en vertical si poden ter unha continuidade da capa de substrato, polo que xunto coa resistencia térmica, froito de manter unha capa de aire relativamente inmóbil entre as follas, hai que engadir-lles a da capa de substrato e a cámara de aire que poida quedar detrás dela. Algo semellante ocorre cos de substrato tridimensional mais, ao teren maiores espesores de substrato, poden mellorarse as prestacións neste senso. Os

hidropónicos, ao non teren substrato, perden o principal elemento que pode achegar resistencia térmica, mais en función de se son lineais (neste caso, adoitan a non cubrir toda a superficie do paramento, polo que a súa resistencia térmica é moi feble) ou superficiais (se ben non dispoñen de elementos con boas resistencias térmicas, polo menos teñen continuidade, podendo reter unha cámara de aire detrás deles), a súa capacidade de illar termicamente varía de moi mala a media. Canto aos sistemas aeropónicos, igual ca os hidropónicos, dependen da continuidade, se ben algúns sistemas cobren toda a superficie, outros son simples mallas que reteñen os vexetais, o que implica malas resistencias térmicas.

- **Inercia térmica**

Este factor está moi vinculado á masa, e no caso dos sistemas vexetais verticais, ao substrato. Por tanto, os sistemas tradicionais, os de dobre pel e os aeropónicos proporcionan inercias térmicas moi baixas. Os hidropónicos, como nalgúns casos teñen espumas plásticas de certo espesor saturadas con auga, poden ter unhas capacidades lixeiramente maiores neste aspecto. Os sistemas con substrato teñen un mellor comportamento neste senso, onde destacan os de disposición tridimensional do substrato, xa que adoitan a ter maiores volumes.

- **Refrixerante (e consumo de auga)**

A capacidade de refrixeración dos sistemas vexetais verticais está moi vinculada á cantidade de auga evaporada, tanto polos propios vexetais como polos demais elementos que formen parte do sistema. A cantidade de auga evaporada polos vexetais é moi variable e independente do tipo de sistema (agás os aeropónicos, que utilizan plantas de mínimos consumos hídricos), xa que depende das especies utilizadas e da densidade da cobertura vexetal, polo que neste apartado centrarémonos máis na auga evaporada polo medio de cultivo, que depende en gran maneira da relación entre a superficie húmida exposta ao ambiente, o volume total do medio de cultivo e a superficie total do sistema. Os sistemas nacidos no solo non evaporan moita auga do

medio de cultivo xa que, ao adoitar ter grandes volumes de terra, a auga está menos exposta ao aire, e ademais hai moi pouca superficie de substrato con respecto á superficie do paramento. Nos sistemas con substrato xa hai máis auga exposta ao ambiente, polo que refrixeran mellor. Os sistemas en disposición horizontal adoitan ter só unha superficie de substrato exposta ao ambiente, xa que as demais están acoutadas por elementos habitualmente impermeables. Os de substrato adoitan ter unha relación entre o substrato exposto ao medio e volume de substrato maior, polo que evaporan máis auga, arrefriando a contorna. Nos de substrato tridimensional, se ben adoitan ter máis superficies expostas, por ter grandes volumes, parte da auga queda retida no interior, sen estar exposta á evaporación. Os sistemas hidropónicos teñen unha gran capacidade de arrefriar, xa que ao teren medios de cultivo de espesores mínimos, xunto co feito de que deben estar permanentemente enchoupados, as cantidades de auga evaporada son moi altas (os sistemas hidropónicos lineais, nos que a auga discorre por unhas canles pechadas, constitúen una excepción a isto, xa que evaporan moita menos auga, mais este tipo de sistemas son moito menos utilizados na construción). Os sistemas aeropónicos, sempre e cando se baseen na correcta selección das especies adaptadas a viviren sen grandes coidados, poden ter consumos moi baixos de auga, xa que esas especies están adaptadas a consumiren os mínimos recursos; de non ser así, os consumos de auga, así como a capacidade de refrixerar, poden ser relevantes.

- **Protección solar**

Depende moito da cobertura, tanto dos vexetais como dos demais elementos. A cobertura vexetal depende do sistema concreto máis ca do tipo, xa que con todos os sistemas se poden acadar uns semellantes graos de cobertura vexetal. Canto á cobertura do medio de cultivo, son os sistemas de substrato en vertical e tridimensional, os aeropónicos e especialmente os hidropónicos (agás os de distribución lineal) os que adoitan cubrir co medio de cultivo a totalidade da superficie do paramento. Mais nalgúns sistemas aeropónicos só se teñen os vexetais

soportados por lixeiras mallas. Nos sistemas de enredadeiras só se interpoñen entre o Sol e o paramento as propias plantas (e mais os entramados nos sistemas de dobre pel)

- **Absorción do CO₂**

Se ben a habilidade para captar dióxido de carbono depende das propias plantas, a capacidade para retelo depende do volume de substrato, así como da súa disposición. Por tanto, os sistemas sen substrato non teñen capacidade de almacenar o carbono captado, polo que será devolto á atmosfera unha vez se libere dos tecidos, cando se estes se descompoñan. Nos sistemas coa disposición do substrato en vertical, as partes das plantas que se desprenden non rematan no substrato, polo que se perde o carbono retido. Nos demais sistemas con substrato, parte da biomasa desprendida pode acumularse no substrato, evitando que parte dese carbono sexa de novo liberado.

- **Captación de contaminantes**

Depende moito da especie de planta en concreto, así como do contaminante que poida reter. Por tanto, estas habilidades son moi variables. Por outra banda, como vimos no apartado [2.3.1.6.3](#), unha vía importante de captación de contaminantes era a rizosfera das plantas, xa que alí moitos contaminantes eran capturados pola diversa comunidade de microorganismos, ou ben estes axudaban as propias plantas a capturalos, por tanto, a simple presenza de substrato supón unha vantaxe. Nos sistemas nados no solo, por unha banda, este medio de cultivo atópase moi pouco alterado, de xeito que poden existir na rizosfera comunidades de microorganismos máis complexas; mais, por outra banda, o solo só se sitúa na parte inferior do sistema, polo que, respecto á superficie do paramento, as proporcións de solo son moi baixas. Canto aos sistemas con substrato, ocorre ao contrario ca nos sistemas nados no solo.

- **Melloras das condicións acústicas**

Igual ca outras prestacións tratadas anteriormente, a capacidade dos distintos tipos de sistemas baséase na cobertura vexetal, na continuidade dos elementos que compoñen o sistema e na presenza de substrato. Supondo unha cobertura vexetal semellante para os distintos tipos, só queda analizar a continuidade e a presenza de substrato. Nos sistemas de gabeadoras, se ben teñen substrato, só se atopa na parte inferior, polo que a aptitude destes sistemas débese principalmente as propias plantas (e mais aos entramados nos sistemas de dobre pel que, aínda que non adoitan cubrir moita superficie, nalgúns casos nos que se utilizan pranchas perforadas como dobre pel si poden ter certa importancia). Nos sistemas co substrato en disposición horizontal, o problema é a continuidade do substrato, algo que non ocorre con tanta frecuencia nos outros sistemas con substrato. Canto aos hidropónicos, se ben os medios de cultivo tenden a ter espesores moi pequenos, polo menos si adoitan a ser continuos (agás os lineais). Algo semellante ocorre cos aeropónicos, mais como algúns sistemas só soportan as plantas con elementos descontinuos como mallas, as súas aptitudes neste senso poden ser menores.

A continuación recolleemos as distintas cualificacións estimadas para cada tipo de sistema en función das vantaxes, así como as particularidades analizadas dentro do apartado de tipoloxías (2.4), nunha táboa resumo:

	TRADICIONAIS	DOBRE PEL	SUBST. HORIZONTAL	SUBST. VERTICAL	TRIDIMENSIONAIS	HIDROPÓNICO	AEROPÓNICO
CUSTOS INICIAIS	↑	↑	↑ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓	↑
CUSTOS MANTENIMENTO	↑	↑	↑ ↓ ↓	↓ ↓	↓	↓	↑ ↓ ↓
COMPLEXIDADE	↑	↑	↑ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓	↓
TEMPO INSTALACIÓN E RESTITUCIÓN	↓	↓	↑ ↓ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑
DURABILIDADE	↑	↑	↓	↓ ↓	↑ ↓	↑	↑ ↓
DIVERSIDADE	↓	↓	↑	↑ ↓	↑ ↓	↓	↓
CONTINUIDADE	↑	↑	↓ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑	↑
PESO	↑	↑	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↑	↑
CONSUMO DE AUGA	↑	↑	↓	↓ ↓	↓	↓ (↑)	↑ ↑ ↓
ILLAMENTO TÉRMICO	↓ ↓	↓ ↓	↓	↓ ↓	↑ ↓ ↓	↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓
INERCIA TÉRMICA	↓	↓	↓	↓	↑ ↓	↓ ↓	↓
REFRIXERANTE	↓	↓	↓	↑ ↓	↓	↑ (↓)	↓ ↓ ↓
PROTECCIÓN SOLAR	↓ ↓	↑ ↓ ↓	↑ ↓	↑ ↑ ↓	↑ ↑ ↓	↑ (↓)	↑ ↑ ↓ ↓
ABSORCIÓN CO ₂	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓ ↓	↓ ↓	↑ ↓ ↓	↓	↓
CAPTACIÓN CONTAMINANTES	↓	↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↓	↓
CONDICIÓNS ACÚSTICAS	↓ ↓	↑ ↓ ↓	↑ ↓ ↓	↑ ↑ ↓	↑ ↑ ↓	↑ (↓)	↑ ↓ ↓
↑: moi favorable ↑: favorable ↓: favorabilidade media ↓: desfavorable ↓: moi desfavorable (): excepción dos sistemas lineais (pouco utilizados en S.V.V) dentro dos sistemas hidropónicos.							

Táboa 4: Resumo das características dos distintos tipos de sistemas vexetais verticais

3. PLANTAS AUTÓCTONAS

Unha planta é autóctona cando ten a súa orixe no lugar onde vive (RAG, 2012). Son diversos os motivos que nos levan a empregar plantas autóctonas, mais pódense resumir en dous:

- **Económico.** Minimízanse os custos á hora de crear as condicións idóneas para a supervivencia e para o correcto desenvolvemento dos vexetais, pois, ao seren plantas autóctonas, xa están en xeral adaptadas ao medio no que van ser utilizadas e, por tanto, non necesitan grandes esforzos para adaptar o medio a elas. Por exemplo, se usamos plantas de bosques tropicais no noso medio, hai que ter en conta que, polo xeral, terán problemas coas xeadas e maiores necesidades de auga e, para lles dar esas condicións idóneas, haberá que aumentar os custos de mantemento do sistema. Tamén hai que ter en conta as particularidades concretas do lugar exacto onde van ser situadas, pois, aínda que sexan plantas autóctonas, poden ser "micro-alóctonas" nunha orientación ou microclima concreto.
- **Ecolóxico.** Ao formaren parte do ecosistema, as plantas están en equilibrio biolóxico co seu medio, e interactúan de forma natural cos demais axentes (microorganismos, insectos, plantas...). Por unha banda, ao usar plantas do lugar evítase a proliferación excesiva dalgunha especie concreta dentro do sistema e, por outra, evítase tamén que as especies pertencentes ao sistema se reproduzan en demasía fora do sistema, afectando ao ecosistema local. Hai que ter en conta que cada especie en concreto tende a buscar o seu nicho biolóxico ideal. Nun sistema vexetal deste tipo, haberá especies que igualmente tendan prosperar máis que as veciñas, ao se daren unhas condicións máis favorables para elas. Por tanto, non é importante (incluso pode chegar a ser contraproducente) a uniformización total dos sistemas. Pequenas variacións das condicións farán que cada especie tenda a buscar a que mellor se adapte as súas necesidades, fomentando a biodiversidade dentro do sistema e, en consecuencia, facéndoo máis vistoso.

No caso de usarmos plantas non autóctonas, corremos o risco de que algunhas especies se naturalicen e se propaguen, o que lles pode afectar aos ecosistemas locais. Estas especies son as denominadas especies invasoras. Os procesos de invasión biolóxica constan de tres fases: a introdución, consistente no transporte dunha especie ata unha zona da que non é nativa; a naturalización, fase na que a especie se adapta ao seu novo medio sen experimentar ningunha expansión; e, por último, a propagación, na que a especie coloniza novas zonas afectándolles aos ecosistemas existentes (Xunta de Galicia, 2007). O risco de usar especies foráneas radica no impredecible período de naturalización, pois certos estudos (Kowarik, 1995) constatan a existencia de períodos de naturalización de ata 147 anos de media en certas especies leñosas exóticas. Por tanto, existe unha certa incerteza sobre se algúns vexetais que non presentaron tendencias invasivas poidan mostrar eses comportamentos nun futuro.

Por tanto, cómpre evitar na medida do posible o uso de especies alóctonas, e no caso xustificando de ter que botar man delas, hai que tratar de usar especies tradicionalmente presentes na nosa contorna que non presentaran síntomas de se converteren en invasivas.

Antes de seleccionar as especies vexetais idóneas para por nunha fachada, convén estudalas previamente, saber en que medios se desenvolven e que características, tanto do solo como do clima, lles poden afectar negativamente.

As especies vexetais que se deben utilizar nos xardíns verticais deben de ter un crecemento rápido, dimensións moderadas, unha boa capacidade tapizante, así como podérense combinar entre elas dun modo simbiótico e complementario.

A continuación mostramos a modo orientativo unha serie de especies autóctonas que se poden utilizar con relativo éxito nos sistemas vexetais verticais. Moitas delas xa están sendo utilizadas neste tipo de sistemas, mais outras son unha proposta propia, tendo en conta a súa capacidade de

adaptación aos sistemas verticais, a capacidade de cubriren as superficies, as necesidades de auga e nutrientes, a profundidade dos sistemas radiculares, a compatibilidade con outras plantas, a protección ante agresións externas como parasitos, e o aspecto estético. Tamén se teñen en conta as plantas que son utilizadas con éxito nestes sistemas, para poder seleccionar plantas autóctonas semellantes. Moitas das plantas non manteñen a follaxe todo o ano, polo que á hora de deseñar o sistema, hai que ter en conta este factor, xa que para que o sistema non se resinta moito nas épocas desfavorables, débense utilizar un mínimo de plantas de folla perenne.

Amosamos o nome científico de cada unha das plantas e mais a denominación galega patrimonial (de existir), seguida dunha breve descrición na que incluímos os principais datos de interese para o noso traballo recompilados sobre elas. Empregamos como obra de referencia a Guía das plantas de Galicia de Xosé Ramón García (2013), mais tamén acudimos a outras fontes para completarmos a información cando foi necesario. As fontes complementarias consultadas son: Gálvez; Menéndez Valderrey, Oliveros Pérez, Fernández, Rubio, & Lorenzo Corchón, 2015; Morales; Real Jardín Botánico & CSIC, 2015; SLI & ILG , 2013 (esta última é especialmente útil para atoparmos denominacións galegas, mais tamén achega información sobre a descrición das plantas).

A continuación, mostramos unha lista de plantas autóctonas utilizadas diversos sistemas (Chanampa et al., 2009; de Garrido, 2011; Paisajes del Sur; Prieto Fernández, 2013; Richart de la Cruz & Richart de la Cruz; Serramia Ruiz, Riquelme Ortega, & Chaparro Bastante).

<i>Adiantum capillus-veneris</i> cuandro, capilarea	Fento con rizoma rastreiros, que se dá en solos húmidos e básicos e pobres en nitróxeno en zonas de penumbra, xa que non tolera o sol directo.
<i>Ajuga reptans</i> herba corocha, herba das xuntas, bégula	Planta perennifolia de ata 15 cm de altura, que se dá en solos húmidos. Soporta sombra, semisombra e sol se non vai moita calor. Dáse en solos preferentemente ácidos, mais soporta os básicos. Boa cubridora.

<i>Armeria maritima</i> herba de namorar, herba empenhadeira	Planta herbácea con pólas de lonxitude variable que se dá en xunqueiras, en marismas, en zonas salobres e, ás veces, en penedías da beiramar, xeralmente en substrato areoso. Dáse a pleno sol, en solos non moi húmidos e pobres. Non resiste ben o frío durante o inverno nas rexións frías (débesse protexer).
<i>Asplenium adiantum-nigrum</i> fento negro	Fento con frondes de 10 a 30 cm que se dá fendas de rochas e taludes terrosos con substratos silíceos ou calcarios. Medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, mais non a xeadas tardías nin as temperaturas extremas. Dáse en solos secos, ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Asplenium billotii</i>	Fento con frondes de 10 a 30 cm que se dá fendas de rochas e sobre sebes e terrapléns, xeralmente silíceos, de lugares sombrizos e non moi fríos (non se dá por riba dos 1000 m de altitude). Medra en solos secos, ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Asplenium marinum</i> fento mariño	Fento con frondes de tamaño variable (desde menos de 10 cm ata os 50 cm) que se atopa nas fendeduras das rochas da beiramar (calcarias e silíceas), ás veces con moi pouca luminosidade. Dáse en solos moi secos, alcalinos e pobres en nitróxeno.
<i>Asplenium onopteris</i>	Fento con frondes de 15 a 45 cm. Dáse sobre rochas e muros en substratos ácidos e descalcificados de lugares sombrizos e algo húmidos.
<i>Asplenium rutamuraria</i>	Fento con frondes de 4 a 15 cm. Dáse en fendas de rochas e muros. Non soporta a sombra e dáse en solos moi secos, alcalinos e pobres en nitróxeno.
<i>Asplenium septentrionale</i>	Fento con frondes de 3 a 15 cm. Dáse en fendas de rochas silíceas e muros, mais non soporta a sombra. Atópase en zonas de calor moderada, en solos moi secos, moi ácidos e moi pobres en nitróxeno.
<i>Asplenium trichomanes</i> fento das boticas	Fento con frondes de 10 a 25 cm que se dá en fisuras de rochas en calquera altitude e tipo de rocha. Medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, e en solos secos (é indicador de sequidade moderada).
<i>Blechnum spicant</i> fenta	Fento de folla semi-caduca con frondes de entre 10 e 50 cm. Aparece en lugares húmidos e sombrizos, coma chans de carballeiras. Prefire os solos moi ácidos e pobres en nitróxeno. Non soporta as xeadas tardías nin as temperaturas extremas.
<i>Bromus erectus</i>	Planta herbácea de ata 100 cm de altura que se dá en lugares secos e luminosos.
<i>Carex muricata</i>	Planta herbácea de ata 70 cm que se dá en solos húmidos (mesmo empozados) e a semisombra.

<i>Centranthus ruber</i> alfinete, herba dos muros, valeriana roxa	Planta perenne con talos de ata 80 cm. Dáse en muros e en lugares removidos, en especial a baixas altitudes. Medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, en solos moi secos, alcalinos e moderadamente pobres ou lixeiramente ricos en nitróxeno. É unha planta medicinal que se emprega en substitución das especies do xénero <i>Valeriana</i> .
<i>Cheilanthes hispanica</i>	Fento con frondes de ata 25 cm que se localiza tipicamente en fendeduras de rochas ácidas en clima mediterráneo (cuarzo e lousa).
<i>Cyperus longus</i> xuncia, xunco, herba xunqueira	Planta herbácea de ata 150 cm, que se dá en lugares húmidos, a plena luz.
<i>Davallia canariensis</i> cabriña	Fento con rizomas superficiais de 1,5 cm de groso. Aparece en lugares frescos e húmidos ata 500 m de altitude, en zonas libres de xeadas, epífita sobre rochas ou árbores. Prefire a luz indirecta ou tamizada.
<i>Erica vagans</i> carrasco, carroucha, queiruga	Pequeno arbusto de ata 100 cm de altura, que aparece ata 1900 m de altitude. Medra a plena luz aínda que soporta sombra.
<i>Festuca ovina</i>	Planta que se atopa en solos rochosos silíceos e prados secos (adáptase ben a solos pobres). É moi resistente ao frío e á seca e require moi pouco mantemento.
<i>Geranium sanguineum</i> agulleira	Planta perenne que pode acadar os 50 cm de alto. Non soporta a sombra, mais si grandes variacións de temperatura. Dáse en solos secos, alcalinos e pobres en nitróxeno. É frecuente en prados, dunas de area, bosques abertos e mesmo ladeiras rochosas.
<i>Helichrysum stoechas</i> herba do becho, perpetua, carrasco bravo	Planta perenne de ata 60 cm que se dá en pedregais e zonas secas de rochas en zonas cálidas. Medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, en solo moi secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Jasminum fruticans</i> xasmín amarelo, xasmineiro	Arbusto que pode acadar os 300 cm. Dáse en lugares solleiros e en semisombra, en solos ricos en nutrientes. Axuda a combater os mosquitos
<i>Juncus maritimus</i>	Xunco de ata 150 cm que se dá en lugares húmidos preto do mar. Non soporta sombra e prefire solos básicos e moderadamente pobres ou lixeiramente ricos en nitróxeno. Non resiste ben as xeadas tardías nin as temperaturas extremas
<i>Lavandula stoechas</i> cantroxo, a(r)zaia, esprego	Arbusto aromático de ata 70 cm de altura, moi ramificado e de folla perenne. Necesita pleno sol e é moi resistente á seca. Dáse en calquera tipo de substrato. Tamén prevén a aparición do pulgón.

<i>Origanum virens</i> ourego	Planta perenne con talos de ata 90 cm que se dá en herbeiras secas, en condicións preferentemente alcalinas. É aromática e emprégase como condimento.
<i>Otanthus maritimus</i> carrascas de San Xoán	Planta herbácea de ata 50 cm que se dá en dunas e praias.
<i>Phyllitis scolopendrium</i> cerviña, lingua de cervo, lingua de boi, herba dourada	Fento con frondes de 20 a 50 cm. Dáse en bosques e bases de muros con sombra permanente e humidade elevada.
<i>Polypodium vulgare</i> fento das pedras, fento dos valos	Fento con frondes que poden acadar os 50 cm. Atópase especialmente sobre rochedos ou muros ácidos, aínda que tamén se pode atopar epífita sobre árbores, chans areosos ou chans de carballeiras e soutos. Prefire os solos húmidos.
<i>Polystichum aculeatum</i>	Fento que acada os 70 cm de alto. Dáse en lugares húmidos e sombrizos a certa altitude. Atópase tamén en fisuras de rochas, especialmente en substrato ácido.
<i>Polystichum setiferum</i>	Fento de folla semi-caduca que acada ata 60 cm de alto. Dáse no sotobosque das galerías dos ríos e noutros tipos de bosques frescos e sombrizos a calquera altitude, en solos de moderadamente secos a húmidos, debilmente ácidos e moderadamente pobres ou lixeiramente ricos en nitróxeno. Prefire zonas de calor moderada e resiste ben as xeadas.
<i>Scirpoides holoschoenus</i> xunco churreiro	Xunco de ata 150 cm que se dá en lugares húmidos a plena luz, aínda que soporta sombra. Prefire a calor, mais soporta grandes variacións de temperatura. Dáse en solos empozados, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Sedum acre</i> pan de paxaro, sempreviva picante, uvas de raposa, vermicularia	Planta perenne que acada unha altura de 5 a 12 cm. Dáse en zonas de calor moderada e non soporta a sombra. Prefire os solos moi secos (mesmo pode medrar nas areas das praias), debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Sedum album</i> pan de lagartos, piñeiriña, uvas de raposo	Planta perenne que pode acadar os 30 cm que non soporta ben a sombra. Dáse en solos moi secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno. É frecuente en muros, rochas, dunas, praias ou tellados.
<i>Sedum sediforme</i>	Planta perenne que acada unha altura de ata 60 cm. Medra en lugares solleiros ou de semisombra e en calquera tipo de substrato, xeralmente en solos pobres e en hábitats moi variados. Dáse en zonas moi cálidas e soporta grandes variacións de temperatura, mais non soporta ben o exceso de auga.

Vinca minor
congosa, herba
doncela

Subarbusto que cobre o terreo e enraíza polos talos en zonas de calor moderada. Dáse en case todos os tipos de solo, aínda que non soporta ben os solos máis secos. Atópase tanto en zonas de sombra coma de sol, aínda que as flores son mellores nestes últimos. Folla perenne.

A continuación, facemos unha proposta de plantas autóctonas que poderían ser utilizadas neste tipo de sistemas:

Asparagus officinalis
L. Subsp. prostratus

Planta herbácea que pode acadar os 40 cm. Dáse na area das praias ou en cantís, en substratos con certa salinidade (debida ás salpicaduras do mar).

Atriplex prostrata

Planta de ata 120 cm que se dá en areas da beiramar de calor moderada. É resistente á salinidade e á insolación e dáse en solos alcalinos de moderadamente secos a húmidos.

Calluna vulgaris
carpaza, carrasca,
queiruga

Arbusto de ata 100 cm que se dá solos moi ácidos. Aparece en lugares soleados (especialmente no monte baixo), aínda que soporta a sombra; e en solos secos (é indicadora de sequidade moderada). Prefire a calor moderada.

Campanula lusitanica
rapónchigo, raponcio

Planta de ata 40 cm que aparece en pastos e prados. Medra a plena luz, mais soporta a sombra. Dáse en solos pobres en nitróxeno, alcalinos (é indicadora de alcalinidade) e secos (tamén é indicadora de sequidade moderada).

Cerastium
glometarum

Planta de ata 30 cm que medra en solos debilmente ácidos e ricos en nitróxeno (é indicadora de riqueza de nutrientes). Dáse en lugares de moderadamente secos a húmidos a plena luz, aínda que soporta a sombra. Prefire a calor moderada.

Cymbalaria muralis
hedriña das paredes

Planta de ata 60 cm que se dá en paredes vellas (especialmente orientadas cara ao norte), en zonas sombreadas. Dáse en solos alcalinos moderadamente pobres ou lixeiramente ricos en nitróxeno, de moderadamente secos a húmidos. Non soporta as xeadas tardías nin as temperaturas extremas.

Daboecia cantabrica
brezo, cubilón,
daboecia, queiruga
maior, tamborela

Pequeno arbusto que acada os 50 cm e que medra zonas con calor moderada. Dáse a plena luz (aínda que soporta a sombra), en solos secos, moi ácidos e pobres en nitróxeno.

Dianthus hyssopifolius
caraveliña

Planta aromática de ata 50 cm que medra a plena luz (aínda que soporta a sombra) en zonas de calor moderada. Dáse en solos secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.

Echium vulgare
lingua de boi, borraxa

Planta de ata 100 cm que medra en zonas luminosas. Dáse en solos moi secos, alcalinos e pobres en nitróxeno. Prefire lugares cálidos, mais soporta grandes cambios de temperatura.

<i>Erica cinerea</i> carrasco, carrouca, queiruga, carpaza	Arbusto de ata 70 cm que medra a plena luz (aínda que soporta a sombra) en solos de moderadamente secos a húmidos, moi ácidos e moi pobres en nitróxeno. Dáse ben con calor moderada.
<i>Erica umbellata</i> carrasco, carroucha, queiruga, carpaza	Arbusto pequeno (de ata 50 cm) que medra en lugares luminosos (non soporta a sombra), en solos secos, moi ácidos e moi pobres en nitróxeno. Prefire climas de calor moderada.
<i>Festuca rubra</i> festuca encarnada	Herba empregada como base nas mesturas dos céspedes ornamentais. Presenta unha boa resistencia ao frío e ao clima seco, así como tolerancia á sombra. Adáptase a solos pobres e salinos.
<i>Foeniculum vulgare</i> fiúncho	Planta aromática e comestible de ata 250 cm. Dáse a plena luz, aínda que tamén soporta a sombra, en solos secos e debilmente ácidos, mais non en solos moi fertilizados. Prefire as zonas cálidas.
<i>Fragaria vesca</i> amorote, amoroteira, amorodo, amoredeira	Planta herbácea de entre 5 e 30 cm que produce falsos froitos comestibles. Dáse en zonas de calor moderada, a plena luz (aínda que soporta a sombra) en solos de moderadamente secos a húmidos e debilmente ácidos, cunha presenza de nitróxeno de moderadamente pobre a lixeiramente rica.
<i>Fumaria muralis</i> matafogo, pé de galiña, pombiña, herba dona, muruxa, saltasebes	Planta gabeadora de pequeno porte que medra en muros e beiras de camiños en zonas de calor moderada. Dáse a plena luz, aínda que soporta a sombra, en solos secos, debilmente ácidos e ricos en nitróxeno.
<i>Galactites tomentosa</i>	Planta de ata 80 cm que non soporta a sombra. Dáse en solos cunha sequidade moderada, ácidos e nitroxenados. Prefire rexións cun clima moderadamente caloroso e non soporta as xeadas tardías nin as temperaturas extremas.
<i>Geranium robertianum</i> herba da esquinciancia, agulleira	Planta de ata 50 cm que medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, en lugares de calor moderada. Dáse en solos moderadamente secos, debilmente ácidos e ricos en nutrientes.
<i>Hedera hibernica</i> hedra, areira	Planta gabeadora que acada os 30 m que se dá en paredes e bosques escuros semihúmidos. Semellante á <i>hedera helix</i> .
<i>Helleborus foetidus</i> herba do gando, herba papeira, chaveira	Planta de entre 20 e 80 cm que se dá zonas luminosas e secas. Medra en solos básicos e baixos en nitróxeno e prefire climas de calor moderada.

<i>Hypericum perforatum</i> abeloura, herba das feridas, herba de San Xoán	Planta aromática de ata 100 cm que se dá en lugares luminosos e solos secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno. Prefire rexións de calor moderada.
<i>Juniperus communis</i> xenebro, xenebreiro, cimbrio	Arbusto de ata 100 cm que se dá en zonas luminosas e frías. Medra en solos secos e ácidos.
<i>Lamium maculatum</i> chuchamel, estruga morta	Planta de ata 50 cm que medra en lugares sombrizos e solos de moderadamente secos a húmidos, alcalinos e ricos en nitróxeno. Dáse en rexións de calor moderada e non soporta as xeadas tardías nin as temperaturas extremas.
<i>Lithodora prostrata</i> herba das doas	Planta de ata 60 cm, común en piñeirais, bosques aclarados e pastos. Dáse en solos ácidos e húmidos.
<i>Lonicera periclymenum</i> herba salgueira, bigorda, chuchamel	Planta aromática gabeadora que pode acadar os 6 m. Dáse en zonas de penumbra e en solos de moderadamente secos a húmidos, ácidos e de moderadamente pobres a lixeiramente ricos en nitróxeno. Prefire zonas de calor moderada e non tolera as xeadas tardías nin as temperaturas extremas.
<i>Lysimachia nemorum</i>	Planta perenne con talos de ata 40 cm, deitados e arraigantes. Dáse en lugares sombrizos, húmidos (bosques húmidos, prados, beiras de fontes e regatos etc.) e ricos en nutrientes. Prefire zonas de calor moderada.
<i>Melissa officinalis</i> herba abelleira, tronxil, melisa	Planta aromática con talos de ata 100 cm. Medra en lugares solleiros, aínda que con algo de sombra en lugares de verán cálido. Tolerar os solos secos, pobres e areosos.
<i>Otanthus maritimus</i> carrasca de San Xoán, carneiros/cordeiros de praia, herba algodoeira	Planta de ata 50 cm que se dá en dunas e praias. Medra en lugares solleiros, mais tamén tolera a sombra. Dáse en zonas de calor moderado e non tolera as temperaturas extremas nin as xeadas tardías. Prefire os solos moi secos, ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Pentaglottis sempervirens</i> buglosa, lingua de boi	Planta herbácea que pode acadar os 100 cm. Medra en zonas de calor moderado e en lugares luminosos, aínda que tolera a sombra, en solos de moderadamente secos a húmidos, debilmente ácidos e ricos en nutrientes.
<i>Ranunculus repens</i> herba de ouro, herba belida, bugallón, patelo, punta loba	Planta de entre 15 e 60 cm que se dá en lugares de penumbra con temperaturas moderadamente cálidas. Prefire solos húmidos ou moi húmidos, debilmente ácidos e ricos en nutrientes.
<i>Ruscus aculeatus</i> xilbarbeira, mesquita, rascacú	Arbusto de entre 10 e 100 cm. Medra en zonas cálidas, mais non soporta as temperaturas extremas. Dáse en lugares sombrizos e solos ácidos e húmidos ou moi húmidos.

<i>Salvia verbenaca</i> herba dos ollos, crista de galiña	Planta de ata 80 cm que se dá en lugares solleiros, aínda que tamén tolera a sombra. Dáse en zonas cálidas, mais soporta grandes variacións de temperatura. Atópase en solos moi secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Satureja ascendens</i> nébeda	Planta aromática de ata 50 cm. Dáse en lugares sombrizos e non tolera as temperaturas extremas. Medra en solos secos, alcalinos e moderadamente pobres ou lixeiramente ricos en nitróxeno.
<i>Sedum anglicum</i> pan de lagartos, uva de raposo, piñeiriña	Planta de entre 5 e 12 cm. Dáse en lugares moderadamente calorosos e solleiros (non tolera a sombra). Medra en solos moderadamente secos e ácidos.
<i>Sedum arenarium</i> pan de lagartos, uva de raposo, piñeiriña	Planta de ata 15 cm que non tolera a sombra e que se dá en lugares cálidos, mais soporta grandes variacións de temperatura. Medra en solos moi secos, ácidos e moi pobres en nitróxeno.
<i>Thymus caespititius</i> tomelo, tomentelo do país	Planta de ata 10 cm. Dáse en lugares secos ou húmidos, mais non tolera o empozamento. Medra especialmente en solos areosos e alcalinos.
<i>Thymus pulegioides</i> herba do cravo, tomelo, tomentelo, tomiño	Planta deitada ou procumbente de ata 70 cm. Medra en prados máis ou menos húmidos, matogueiras ou claros de bosque en diferentes tipos de solos.
<i>Trifolium repens</i>	Trevo con talos reptantes de ata 60 cm. Medra a plena luz, aínda que soporta a sombra, en lugares de calor moderada. Prefire os solos de moderadamente secos a húmidos, debilmente ácidos e ricos en nutrientes.
<i>Umbilicus rupestris</i> couselo, capelo	Planta de ata 50 cm que se dá en paredes e rochas. Medra a plena luz, mais soporta a sombra, aínda que non as temperaturas extremas. Dáse en solos moderadamente secos, debilmente ácidos e pobres en nitróxeno.
<i>Wahlenbergia hederacea</i>	Planta de talos finos, gabeadora de pequeno porte (pode acadar os 30 cm). É frecuente nos muros, en lugares de penumbra, a temperaturas cálidas e en solos empozados, ácidos e pobres en nitróxeno.

4. ELEMENTOS AUXILIARES DE OBRA

Os elementos auxiliares de obra son aqueles elementos que, se ben non quedan incorporados ao produto do proceso edificatorio, son necesarios para a súa construción. Na construción existen unha numerosa cantidade de elementos auxiliares, e de moi distintas naturezas, tales como estadas, guindastres, cimbras, pasarelas, valados, montacargas, encofrados, moegas, apeos, carteis publicitarios, casetas, contedores, maquinaria, silos, liñas de vida e demais sistemas de protección colectiva, instalacións auxiliares etc., mais neste apartado centrarémonos naqueles elementos que poidan sernos de interese como soporte ou onde integrar sistemas vexetais verticais.

Para este fin, os elementos auxiliares de obra deben reunir certas características: teren certa **capacidade portante**, como para poderen termar dos sistemas; teren unha **superficie** o suficientemente ampla onde poder instalar o sistema vexetal, e ademais estaren en disposición vertical (de non ser así, non sería un sistema vertical); ser un elemento auxiliar relativamente **permanente**, co fin de aforrar custes de instalación e desinstalación do sistema vexetal vertical; e ter unha **situación** adecuada, ben para recibir a luz suficiente como para que as plantas poidan desenvolverse, ben para que poida ser visto, xa que unha das súas vantaxes é o seu aspecto, a súa capacidade para atraer miradas, así como a súa vinculación a prácticas sostibles. Igualmente, débese intentar que os propios sistemas vexetais se integren en lugares onde causen as **menores molestias** posibles.

Dentro da gran cantidade de elementos auxiliares existentes nunha obra, algúns dos que serían uns bos candidatos para poderen albergar sistemas vexetais son as estadas, as cercas, as casetas de obra, os silos etc., e, en menor medida, outras estruturas menores como as de soporte ascensores e montacargas, así como apontoamentos ou similares.

5. APLICACIÓN DE SISTEMAS VERTICAIS VEXETAIS CON PLANTAS AUTÓCTONAS EN ELEMENTOS AUXILIARES DE OBRA

Unha vez analizados os sistemas vexetais verticais, así como despois de mostrar os elementos auxiliares de obra nos que estes se poden integrar, neste apartado explicaremos dous exemplos a modo de aplicación dos primeiros sobre os segundos, aínda que existe un amplo abano de posibilidades.

Se ben os sistemas vexetais verticais se adoitan vincular a prácticas respectuosas co medio ambiente, en moitos casos non é así. Os exemplos propostos pretenden achegar algo positivo neste senso. Un será realizado a partir de refugалlos e elementos sobrantes do proceso construtivo, e o outro será de mínimo mantemento.

5.1. EXEMPLO 1:

Sistema vexetal vertical con substrato, utilizando palés.

- **Descrición:**

Este tipo de sistemas non son unha novidade, pois existen moitos exemplos de sistemas vexetais en palé de madeira. Neste caso en concreto utilizaremos plantas aromáticas.

As plantas escollidas son o ourego (*Origanum virens*), a caraveliña (*Dianthus hyssopifolius*), a herba salgueira (*Lonicera periclymenum*), a herba abelleira (*Melissa officinalis*), a nébeda (*Satureja ascendens*) e o tomentelo (*Thymus caespititius*), xa que son plantas que poden convivir en solos de pH neutro, moderadamente secos e non moi ricos, e en lugares relativamente luminosos.

O palé que se vai utilizar pode ser de calquera tipo, mais deberían ser palés de tamaños semellantes, para lle dar certa coherencia ao conxunto. Neste exemplo, utilizaremos palés de madeira do tipo europeo, aínda que son recomendables palés máis lixeiros. Escolleremos palés que non presenten

fendas, e que se mostren ríxidos, para evitar roturas unha vez dispostos, xa que o peso do sistema non é baixo. A maiores, é conveniente lixar e aplicar á madeira un tratamento para exteriores, para aumentar así a súa durabilidade, xa que vai estar exposta á humidade e posiblemente á radiación solar.



Imaxe 34: Exemplo de palé de tipo europeo ((Bachiller, 2015))

Para conter o substrato utilizaremos calquera tipo de lámina sobrannte, como xeotéxtiles, láminas impermeabilizantes, ou incluso se poden utilizar bolsas do lixo ou semellantes. O ideal é non utilizar elementos moi permeables, xa que en espesores relativamente estreitos de substrato a auga esvaécese con moita facilidade. De usar elementos impermeables, faránselles unhas perforacións para evitar enchoupamentos, xa que as plantas utilizadas non son moi tolerantes aos excesos de auga.

O palé dispórase de forma que as táboas queden horizontalmente. Unha vez disposto desta forma, introducíranse as láminas elixidas, unha en cada lado da liña de tacos, cun ancho maior ca o do oco, para poder pregalas e grampalas sen deixar ocos nos laterais por onde poida escapar o substrato. Colocarase en forma de “U”, grampándoa sobre os contornos de madeira, grampando tamén os laterais. Posteriormente, encherase ese espazo con terra vexetal, lixeiramente compactada.

As plantas instalaranse unha vez estea o contedor de substrato cheo, ou preferiblemente mentres se vai enchendo, instalando cada ringleira de plantas unha vez a capa de substrato chegue ao seu nivel en altura. O sistema de instalación das plantas consiste en facer orificios nas láminas contedoras de substrato e introducir as plantas co terrón incluído, mais facendo o orificio do mínimo tamaño posible, para evitar que o substrato do interior saia.

- **Instalación:**

Como lugar de exemplo onde instalar este elemento, escolleremos unha localización próxima ao paso de persoas, co fin de, ademais de resaltar o aspecto visual, facelo tamén co olfactivo. Un bo emprazamento pode ser a parte inferior das estadas, e utilizar os traveseiros como elemento de suxeición. As plantas escollidas, se ben soportan sombra, a maioría gustan de claridade, polo que para que se desenvolvan convenientemente e poidan ser todo o aromáticas que se pretende, deberían estar dispostas nun lugar bastante luminoso. Colocaranse tantos palés en horizontal como conveña, mais só unha ringleira en vertical, para non sobrecargar as estadas co seu peso.



Imaxe 35: Exemplo de estada con dous traveseiros

Disporanse dous traveseiros nas estadas, co fin de ancorar cada palé de forma firme, en catro puntos cada un deles. Os palés de tipo europeo de catro entradas na súa parte inferior están formados por 9 tacos, unidos de tres en

tres mediante tres táboas. Estas tres táboas de unión, paralelas ás táboas da parte superior, quedarán dispostas horizontalmente, mais co fin de reforzar a ancoraxe e repartir mellor as cargas, uniremos estas tres táboas cravando transversalmente sobre elas outras dúas de forma que o perímetro inferior do palé quede reforzado. Unha vez feito isto, mediante catro suxeicións de forma Ω dispostas sobre os catro tacos das esquinas, con dous tirafondos cada unha, suxeitaremos o palé aos traveseros. Se as distancias entre os traveseros non fan posible dispor as suxeicións sobre os catro tacos, colocaranse sobre os dous tacos superiores, ancorando os dous restantes sobre a táboa de reforzo que colocamos previamente.



Imaxe 36: Unión de dous postes cunha suxeición de forma Ω
(fonte: grupacer.com)

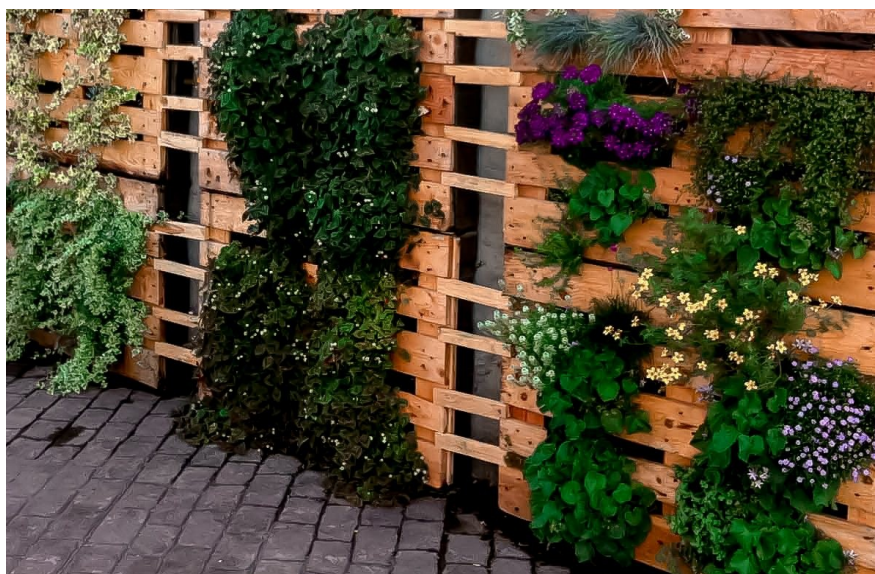
Canto ao sistema de rega, se ben as especies escollidas son de solos preferentemente secos, adoita ser necesario igualmente. Instalaremos un sistema de rega por goteo sinxelo con programador. Consiste nun cano de rega de $\varnothing 16$ mm, que se dispón pola parte superior do substrato. Nese cano, realízanse unhas perforacións cun punzón, e neses ocos introdúcense os gotexadores. Ao final do cano dispónse un tapón final, para que a auga non saia máis que polos propios gotexadores. Os gotexadores subministran un caudal aproximado de 2 l/h, polo que, para este tipo de plantas, con dispoñer 4 gotexadores por palé, programados para regar durante 5 minutos cada 12 horas, pode ser suficiente (1,3 l ao día cada palé), dependendo do espesor da

capa de substrato, da capacidade de retención de auga deste, así como do número de plantas instaladas. Existen numerosos kits á venda de sistemas de rega por goteo, con todo o necesario (adaptador á toma de auga, peza de cambio de sección, filtro, programador, cóbados, gotexadores, canos, tapóns...) a prezos moi económicos (sobre 30-50€).

O prezo material estimado do sistema novo, de non reutilizar materiais, tendo en conta o palé tratado e reforzado, lámina, suxeicións e substrato ronda os 30 €/u (semellante prezo para o metro cadrado). As plantas, de ter que as mercar todas, e dispoñendo unhas 16 en cada palé, teñen un prezo sobre 40€.

Canto ao peso, estes sistemas son bastante pesados, xa que só o palé ten un peso aproximado de 26 Kg, chegando a poder acadar o conxunto, co substrato saturado, un peso total de 40 Kg.

Con este sistema, especialmente se se sitúa en zonas de paso, pódese achegar unha mellora estética en zonas nas que ese criterio apenas se tivera en conta, á vez que tamén se estimula positivamente o sentido do olfacto, algo máis inesperado se cabe.



Imaxe 37: Aspecto de sistemas deste tipo. Neste caso, está suxeitado a un paramento (non a un elemento auxiliar de obra) (fonte: aguaribay)

5.2. EXEMPLO 2:

Sistema vexetal vertical aeropónico de mínimo mantemento.

- **Descrición:**

Para facer un sistema deste tipo utilizaremos plantas que habitualmente se dean na natureza sen necesidade de substrato (plantas epífitas), nin precisen de coidados. Hai que ter en conta que, aínda que sexan plantas que non necesitan mantemento no seu medio natural, ao situalas noutro lugar si o poden necesitar, mais pretendemos que este sexa mínimo.

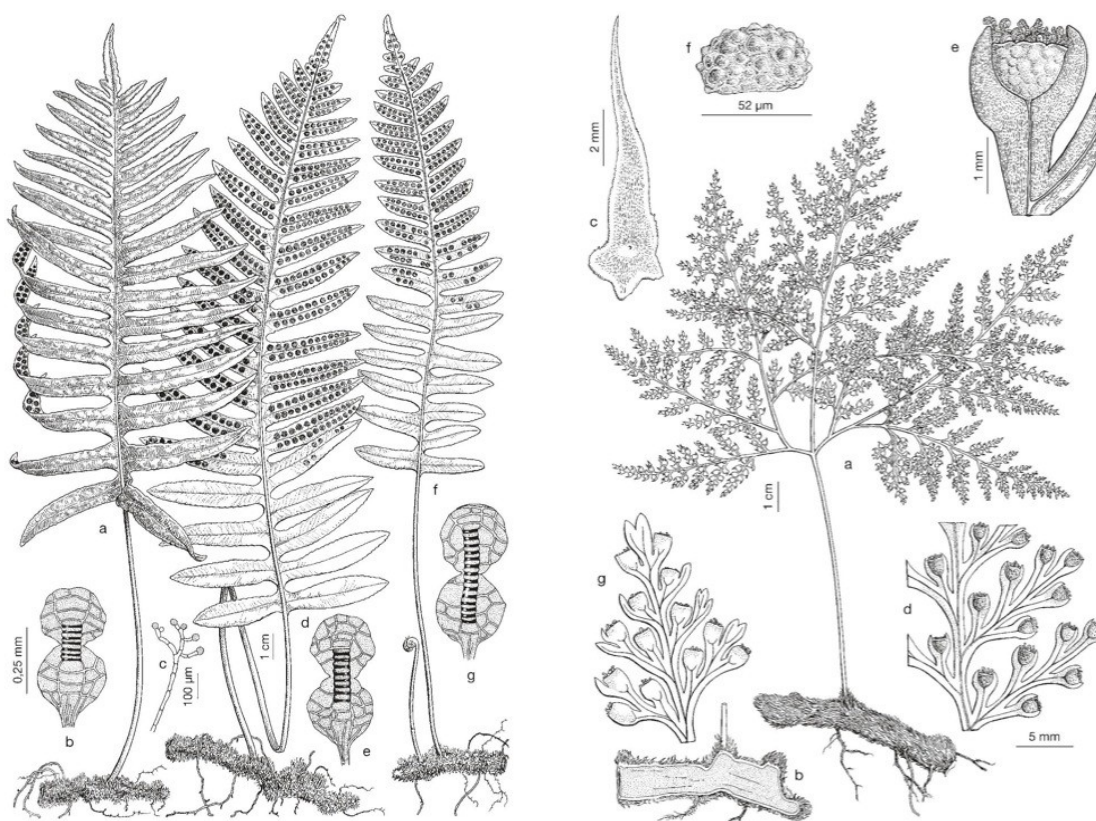


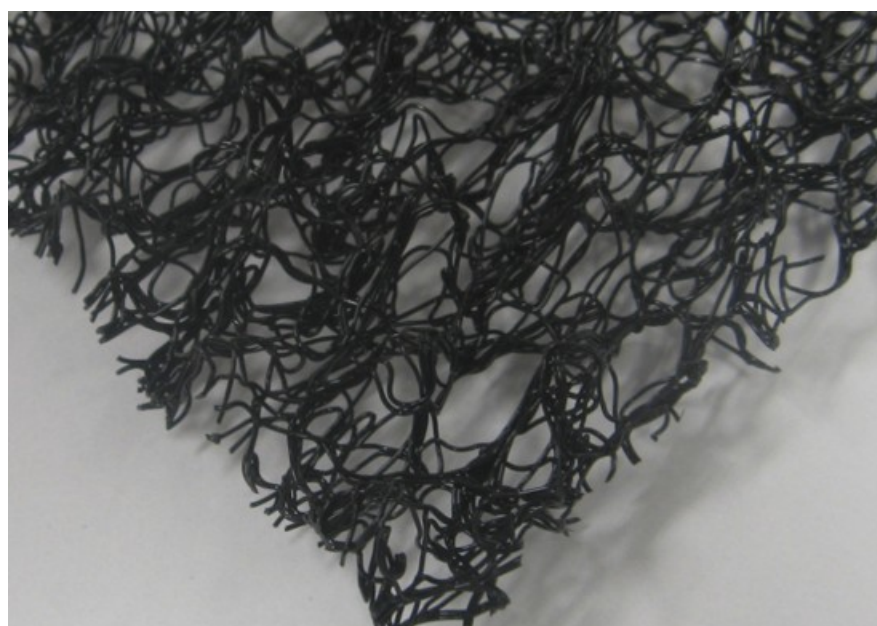
Ilustración 11: Á esquerda, ilustracións do xénero polypodium (o fento dos valos *polypodium vulgare* é o situado máis á dereita), e á dereita, a cabriña (*davallia canariensis*) (fonte: Gálvez)

As plantas escollidas son dous fentos que se dan na natureza en lugares semellantes, como son os fentos *polypodium vulgare* e *davallia canariensis* (fento dos valos e cabriña, respectivamente). Os dous teñen en común que están provistos dun rizoma goso aéreo; que medran epífitos sobre rochas, muros e árbores (especialmente carballos); que se dan en lugares de

semisombra e con temperaturas temperadas (non soportan xeadas), así como en lugares con certa humidade; medran sobre solos moi pobres, secos e ácidos.

Por tanto, ao se daren normalmente sobre elementos verticais e que non reteñan auga, son uns bos candidatos para sistemas vexetais verticais. Ao necesitaren certa humidade ambiente, o feito de estaren nun clima húmido pode non ser suficiente, polo que instalaremos un sistema de rega por pulverización para os climas secos. Pola contra, necesitan estar en lugares de semisombra (con luz, pero non directa), así como onde non se dean xeadas. As dúas adoitan perder a follaxe nos meses de outono, mais o fento dos valos pode mantela de ter unhas condicións favorables. Se ben isto limita as posibilidades de aplicación, é o prezo que hai que pagar par poder ter un sistema de mantemento mínimo. Para lugares con exposicións ao sol maiores poderíase instalar outro tipo de plantas distintas máis tolerantes ao sol, como son moitos tipos de sedum.

Como medio de soporte utilizaremos unha malla volumétrica das que se utilizan para favorecer a implantación de vexetación na contención de taludes, normalmente de polietileno de alta densidade ou polipropileno, con aditivos resistentes aos raios ultravioletas.



Imaxe 38: Exemplo de malla volumétrica (fonte: Geotexan)

Esta malla irá grampada sobre outra lámina de feltro de polipropileno (máis resistente aos raios UV ca os feltros de poliamida). Existen solucións de láminas compostas similares á unión destas dúas, onde as dúas láminas se unen con calor, que tamén poden ser utilizadas. O feltro pode ser armado en función das necesidades. A malla volumétrica serve como elemento onde enraizar as plantas, á vez que manteñen as súas raíces secas, xa que estas plantas non toleran empozamentos onde desenvolvan o seu sistema radicular. A lámina de feltro serve para ter unha superficie que reteña algo de auga, para que as plantas poidan desenvolver as súas raíces máis preto ou máis lonxe desta lámina, en función das súas necesidades.



Imaxe 39: Detalle dos rizomas da cabriña (os do fento dos valos son algo menos grosos). Esta especie tamén é denominada pata de coello, debido á pelosidade branca dos rizomas (fonte: Oliver Fronteriz, 2013)

As plantas normalmente son subministradas en forma de un anaco de rizoma con algunhas frondes (poderíase reproducir tamén utilizando as esporas, mais sería moito máis lento). Deben colocarse sobre o soporte descrito anteriormente, en posición horizontal. Logo dun tempo, eses rizomas botarán raíces que se ancorarán ao soporte. Para manter as plantas fixas, ou se se pretende instalar o sistema antes de agardar ao desenvolvemento das raíces, pódense suxeitar as plantas coa axuda de adhesivos específicos para plantas epífitas, ou ben atando os rizomas. Co fin de facilitar o traslado do conxunto, poden disporse os rizomas paralelamente, nunha dirección perpendicular á dirección máis longa da malla soporte, co fin de poder envolver o conxunto

mallas-plantas para así facilitar o seu transporte.

- **Instalación:**

Neste apartado, mostraremos un exemplo de instalación do sistema, sobre valados de cerramento de obra, concretamente os valados móbiles de malla galvanizada. Hai que ter en conta que, se ben o peso do sistema non é moi elevado, si pode ser relevante a resistencia que opoña ao vento, polo que nalgúns casos pode non ser suficiente os habituais pés de formigón, o que implicaría ter que ancoralo ao chan. Estes valados adoitan ter unha altura de 2 m.



Imaxe 40: Exemplo de valado onde poder instalar este sistema
(fonte: construmatica.com)

O sistema de ancoraxe das láminas cos vexetais aos valos farémolo con broches redondos suxeitadores para malla. Estes broches deben situarse cada 50 cm na parte superior do conxunto, mais pódese aumentar a distancia de separación na parte inferior e nos laterais. Antes de dispoñelos, convén dobrar a malla uns 5 cm no lugar onde van ser instalados para lle dar rixidez ao oco. Disporanse de maneira que se deixe unha separación entre o borde do broche e o límite da malla de polo menos 1 cm. Unha vez instalados os broches, e feito un orificio na lámina en cada un deles, xa poden ser ancorados á malla soporte, ben con bridas, atados con arame etc.



Imaxe 41: Tipo de ancoraxe con broche circular para malla
(fonte: Hydro Environment)

O sistema de rega de baixa presión que instalaremos non necesita ser moi complicado, xa que as plantas escollidas non son moi esixentes. Certas instalacións de rega de sistemas vexetais verticais poden necesitar temporizadores, mais neste sistema, instalaremos só unha chave de paso, que se accionará manualmente. Desta forma podemos escoller o momento oportuno para facer a rega. Cunha rega ao día en tempo seco pode ser suficiente (ou dúas, en función da climatoloxía e o emprazamento), preferiblemente no serán ou na mañá cedo, xa que nestas horas pérdese menos humidade por evaporación.

Disporase un cano distribuidor de polietileno de Ø9,5 mm ao longo do sistema, que ben pode ir soterrado, sobre a superficie do chan, ou preferiblemente suxeito ás mallas metálicas (esta última opción só cando non se pretenda ter a posibilidade de separar os valos para permitir o paso). Onda a toma de auga, disporase dunha válvula de peche, unha válvula de drenaxe para evitar que se dane o sistema de rega de haber xeadas, e unha válvula filtrante, para evitar que se obturen os canos. Posteriormente, distribúese o cano ata o lugar de pulverización. Unha vez alí, distribuiranse os distintos puntos de nebulización, cada 75 cm, o que implica dispor de unha conexión en “T”, onde ancorar unha extensión porta nebulizador, e finalmente dispónse o propio nebulizador.



Imaxe 42: Exemplo de porta nebulizador flexible (esquerda), conexión en “T” (dereita arriba), e nebulizador (dereita abaixo) (fonte: Drip&Fresh)

As mallas subminístranse habitualmente en rolos de distintas medidas, tales como 2,25, 2,00, ou 1,50 m de ancho. Preferiblemente, e tendo en conta a altura do valo, utilizaremos as de 1,50 m, xa que deixaremos unha pequena marxe para instalar o sistema de rega a unha lixeira separación das mallas, e así permitir que a auga pulverizada se distribúa máis uniformemente. Por tanto, en cada metro lineal de valo dispórase de $1,45 \text{ m}^2$ de sistema vexetal vertical (tendo en conta os 5 cm do pregue).

Os seus custes iniciais aproximados, tendo en conta os vexetais e a plantación; as láminas, ancoraxes, sistema de rega completo; así como a man de obra para instalalo, están arredor dos 49 €/m². Canto ao consumo de auga, este tipo de aspersores de baixa presión teñen uns consumos de arredor dos 5 l/h, a aproximadamente 3,5 bar, o que farían un total de 4,6 l/h/m², mais hai que ter en conta que a rega só é necesaria uns minutos ao día, e só cando a climatoloxía sexa desfavorable.

Con isto conseguiremos un sistema vertical vexetal de baixo custo e de moi baixo mantemento. Pola contra, este sistema en concreto só pode ser utilizado nun número de emprazamentos limitado debido as condicións que as plantas requiren.

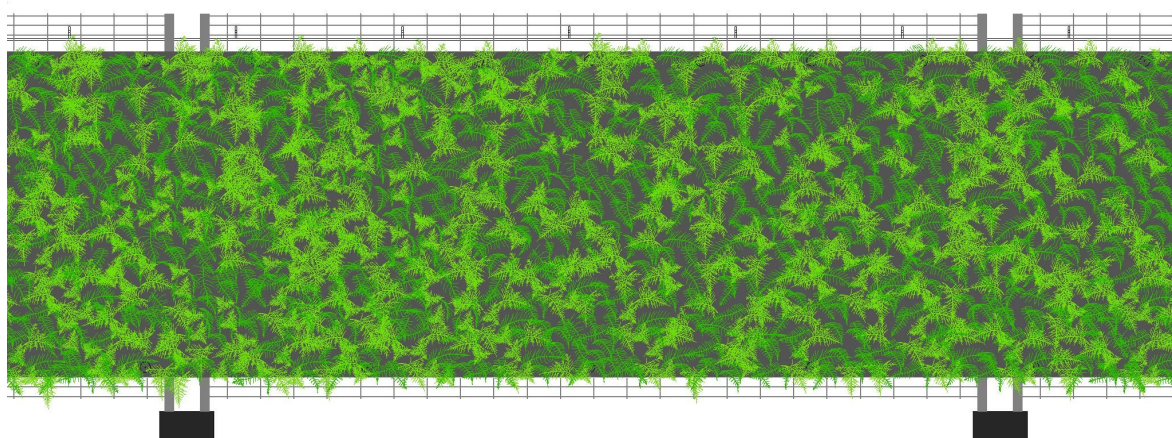


Ilustración 12: Aspecto final do sistema

6. CONCLUSIONES

Como vimos, os sistemas vexetais verticais teñen certas características que poderían ser interesantes á hora de integralas no proceso edificatorio. As vantaxes que máis destacarían neste medio serían a captación de contaminantes, de partículas e de dióxido de carbono; a mellora da percepción da obra debido a aparencia amena e agradable destes sistemas; as leves melloras canto ao acondicionamento acústico (en lugares relativamente pechados, xa que en lugares abertos non serían apreciables); e a proxección de imaxe empresa diferente e comprometida coa sustentabilidade.

Aínda que quedou demostrada a alta capacidade deste tipo de sistemas en xeral para absorber contaminantes, tamén vimos que esa capacidade depende moito do tipo de planta e contaminante en concreto, polo que ao utilizar plantas das que existen estudos que avalen as súas propiedades descontaminantes, non se pode ter a certeza de que estes sistemas teñan un comportamento moi vantaxoso. Pola contra, poden ser dunha gran utilidade como captadores de partículas en suspensión, xa que nestes lugares adoita haber gran cantidade de materia particulada no aire, e estes sistemas demostraron bos resultados neste senso; así como absorbentes de dióxido de carbono que, aínda tendo en conta que non parece ser unha vantaxe das máis destacables, axudaría a compensar en parte o CO₂ emitido durante a obra.

Canto aos aspectos económicos, se ben os sistemas vexetais verticais non son en principio elementos rendibles economicamente, si se pode aproveitar a apreciación favorable que a xente ten deles, e utilízalos como elemento de diferenciación, xa que na actualidade aínda non teñen un gran uso na edificación, e moito menos durante o proceso edificatorio.

Os demais aspectos analizados dos sistemas vexetais verticais, non os consideramos relevantes á hora de integralos na contorna da obra. Isto débese a tres factores: á **sobrevaloración de certas vantaxes** que ao final non semellaron ser tal (como por exemplo a captación de auga de chuvia, vantaxe sobrevalorada posiblemente debido á extrapolación da capacidade de recollida de auga doutros cerramentos vexetados como as cubertas axardinadas, nas

que é algo mellor); á **descontextualización respecto ao lugar** (tendo en conta o seu clima, historia, cultura...) no que van ser utilizados (como por exemplo as propiedades térmicas, que como vimos, non son moi beneficiosas en climas temperados coma o oceánico); e á **descontextualización respecto á localización** ou o lugar concreto onde se utilice, neste caso nas obras (como por exemplo as propiedades acústicas, que se ben os sistemas vexetais verticais mostraron ter un comportamento neste senso relativamente bo, en lugares concretos dentro das obras poden non ser apreciables).

Por tanto, consideramos que no momento actual, os sistemas vexetais verticais aplicados a elementos auxiliares de obra son unha solución que cómpre ter en conta, xa que poden ser implantados a custes relativamente baixos (tanto custes iniciais como de mantemento, como tratamos de mostrar nos exemplos tratados no apartado 5); e, a cambio, podemos mellorar o aspecto e a concepción que ten a xente das obras, dar a coñecer este tipo de sistemas e aproveitar a boa concepción que se ten deles para darse a ver e diferenciarse da competencia, e de paso mellorar a calidade do aire nos lugares nos que adoita ser máis necesario, como son os medios urbanos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agronica. Proyecto Hidroponia Vertical. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.agronica.com/2012/08/proyecto-hidroponia-vertical-agronica.html>
- aguaribay. Jardín vertical hecho de palets de madera. Obtido 31 de Agosto de 2015, de <http://www.muebleshechosconpalets.com/jardin-vertical/>
- aguaribay. Jardinería vertical: otra perspectiva. Obtido 21 de Agosto de 2015, de http://www.infojardin.net/foro_jardineria/temas/48497.html
- Air Garden. (2015a). Catálogo Air Garden 2015. Obtido de <http://www.air-garden.com/web/es/Catalogo>
- Air Garden. (2015b). Tarifas Air Garden 2015. Obtido de <http://www.air-garden.com/web/uploads/intranet/i1TARIFAS AIR GARDEN ES 2015.pdf>
- Albert, L. A. (1997). Compuestos orgánicos persistentes. Em L. A. Albert (Ed.), *Introducción a la toxicología ambiental* (pp. 333 – 358). México: Gobierno de México. Obtido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a20.pdf>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Roma: Organización das Naciones Unidas para a Agricultura e a Alimentación. Obtido de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Álvarez Noves, H., & Seoane, I. (1982). Fotodegradación de la madera. *AITM*, 108. Obtido de http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1153_17037.pdf
- Amon, A., Berk, A., Bretscher, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Lodish, H., ... Scott, M. P. (2013). *Molecular Cell Biology* (7^a ed.). New York: macmillan.
- Amthor, J. S. (2000). The McCree-de Wit-Penning de Vries-Thornley respiration paradigms: 30 years later. *Annals of botany*, 86(1), 1–20.

- Anderson, T. A., Guthrie, E. A., & Walton, B. T. (1993). Bioremediation in the rhizosphere. *Environmental Science & Technology*, 27(13), 2630–2636. <http://doi.org/10.1021/es00049a001>
- April, R., & Keller, D. (1990). Mineralogy of the rhizosphere in forest soils of the eastern United States. *Biogeochemistry*, 9(1), 1–18. <http://doi.org/10.1007/BF00002714>
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (1995). Resúmenes de Salud Pública - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) [Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PHA)]. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Obtido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.pdf
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (1998). Resúmenes de Salud Pública - Anhídrido sulfuroso (Sulfur Dioxide). Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Obtido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs116.pdf
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2002). ToxFAQs™ - Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides). Obtido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.pdf
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2009). Curso de toxicología para comunidades: Estudio de sustancias tóxicas. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Obtido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/4/es_module4.html
- Attenborough, K. (2001). Developments in Modelling and Measuring Ground Impedance. *Sound propagation outdoors*, 2–3. Obtido de http://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/6_13.pdf
- Attenborough, K., Boulanger, P., Qin, Q., & Linton, C. M. (2005). Developments in modelling acoustical effects of surface roughness. *Forum Acusticum 2005 Budapest*, 1063–1068. Obtido de http://www.researchgate.net/publication/268015706_Developments_in_modelling_acoustical_effects_of_surface_roughness

- Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., ... Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 46–56. <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.09.010>
- Bachiller, A. (2015). Conoce un poco más acerca de los palets - Square Design. Obtido 31 de Agosto de 2015, de <http://www.squaredesign.es/conoce-un-poco-mas-acerca-de-los-palets/>
- Baird, C. (2014). *Química ambiental* (2ª ed.). Barcelona: Reverté.
- Billet, S., Garçon, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., ... Shirali, P. (2007). Ambient particulate matter (PM2.5): physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549). *Environmental research*, 105(2), 212–23. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2007.03.001>
- Blanc, P. (a). Cité des Sciences et de l'industrie de la Villette. Obtido 20 de Agosto de 2015, de <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/cite-des-sciences-et-de-lindustrie-de-la-villette-paris>
- Blanc, P. (b). Quai Branly Museum. Obtido 21 de Agosto de 2015, de <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/quai-branly-museum>
- Blanc, P. (c). *The Vertical Garden - A Scientific and Artist Approach*. Vertical Garden Patrick Blanc. Obtido de <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/documents>
- Blankenship, R. E. (2002). *Molecular mechanism of photosynthesis*. Oxford: Blackwell Science.
- Boeri, S. (2015). Stefano Boeri Architetti and Bosco Verticale at MIPIM 2015. Stefano Boeri Architetti. Obtido de <http://www.stefano-boeri-architetti.net/en/news/stefano-boeri-architetti-and-bosco-verticale-at-mipim-2015/>
- Brimat. (a). Sistema Jakob. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://brimat.cl/sistema-jacob/>

- Brimat. (b). Sistema macetas. Obtido 23 de Agosto de 2015, de <http://brimat.cl/sistema-macetas/>
- Bringslimark, T., Hartig, T., & Patil, G. G. (2009). The psychological benefits of indoor plants: A critical review of the experimental literature. *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 422–433. <http://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.05.001>
- Browne, F. L., & Simonson., H. (1957). The penetration of light into wood. *Forest Products Journal*, 7(10), 303–314.
- Brunshidle, T. P., Brunshidle, B., Nabeel, I., & Sullivan, J. E. (2003). A review of the measurement, emission, particle characteristics and potential human health impacts of ultrafine particles. *PubH 5103: Exposure to Enviromental Hazards*. Obtido de <http://enhs.umn.edu/current/5103/particles/intro.html>
- Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73, 198–207. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.005>
- Ceja, J., Espejo, A., López, A. R., García, J., Mendoza, A., & Pérez, B. (2008). Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Ciencias 91*. Obtido de <http://www.revistacienciasunam.com/en/44-revistas/revista-ciencias-91/234-las-plantas-epifitas-su-diversidad-e-importancia.html>
- Chadde, J. La Escorrentía de las aguas de tormenta: Entendiendo los impactos ecológicos de cambiar los usos del suelo. Obtido 18 de Agosto de 2015, de http://greenteacher.com/article_files/stormwaterespanol.pdf
- Chanampa, M., Alonso Ojembarrena, J., Vidal Rivas, P., Guerra Aragonés, R., Olivieri, F., Neila González, F. J., & Bedoya Frutos, C. (2009). Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades. *Cuaderno de Investigación Urbanística*, 67, 49–67. Obtido de <http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/1071>
- Chaney, R. L., Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Brewer, E. P., Angle, J. S., & Baker, A. J. M. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 8(3), 279–284. [http://doi.org/10.1016/S0958-1669\(97\)80004-3](http://doi.org/10.1016/S0958-1669(97)80004-3)

- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección ambiental*. Barcelona: Ariel.
- Clarín. (2010). Muros verdes para las autopistas. Clarín. Obtido de http://www.clarin.com/capital_federal/Muros-verdes-autopistas_0_352164884.html
- Clydevk. Iceland Day 9 - Holar turf house by Clydevk on DeviantArt. Obtido 19 de Agosto de 2015, de <http://clydevk.deviantart.com/art/Iceland-Day-9-Holar-turf-house-321065199>
- Coetapac. (1995). NTJ071 E (Norma tecnológica, trepadoras). Coetapac. Obtido de <https://www.weboryx.com/oryx/cms/es/producte/2689/5276/1/norma-tecnologica-trepadoras-ntj071-e.html;jsessionid=4455241d7dc1a07971b2ab16fc6b>
- Colaboradores de Wikipedia. (2015, Julho 14). Velocidad del sonido. Wikipedia, La enciclopedia libre. Obtido de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Velocidad_del_sonido&oldid=83781011
- Connelly, M., & Hodgson, M. (2015). Experimental investigation of the sound absorption characteristics of vegetated roofs. *Building and Environment*, 92, 335-346. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.023>
- construmatica.com. Valla movil. Obtido 28 de Agosto de 2015, de http://www.construmatica.com/img/business/products/125691/valla_movil.png
- Convenio de Estocolmo. Obtido 26 de Agosto de 2015, de <http://chm.pops.int/>
- Cook, D. I., Service, F. S. U. S. F., & Haverbeke, D. F. Van. (2004). *Trees and Shrubs for Noise Abatement* (Vol. 2004). Obtido de https://books.google.es/books/about/Trees_and_Shrubs_for_Noise_Abatement.html?id=zp0FAAAACAAJ&pgis=1
- Cotter-Howells, J., & Caporn, S. (1996). Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates. *Applied Geochemistry*, 11(1-2), 335-342. [http://doi.org/10.1016/0883-2927\(95\)00042-9](http://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00042-9)
- CTE Web (Código Técnico de la Edificación Web). (2007). Materiales. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1>

- Czemiel Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351–360. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Dalley, S. (2013). *The Mystery of the Hanging Garden of Babylon: An Elusive World Wonder Traced*. Obtido de https://books.google.es/books/about/The_Mystery_of_the_Hanging_Garden_of_Bab.html?id=6IUivLRnGC0C&pgis=1
- De Garrido, L. (2011). *Sustainable architecture: green in green*. Sant Adrià de Besòs (Barcelona): Instituto Monsa de Ediciones.
- De Insausti Machinandiarena, P., & Vigil de Insausti, A. (2012). El jardín romano a través de la literatura y la pintura. Obtido 20 de Agosto de 2015, de http://www.irp.webs.upv.es/documents/arche_article_186.pdf
- Dean, J. C., Kusaka, R., Walsh, P. S., Allais, F., & Zwier, T. S. (2014). Plant Sunscreens in the UV-B: Ultraviolet Spectroscopy of Jet-Cooled Sinapoyl Malate, Sinapic Acid, and Sinapate Ester Derivatives. *Journal of the American Chemical Society*, 136(42), 14780–14795. <http://doi.org/10.1021/ja5059026>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612. Obtido de http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf
- Den Boer, L. C., & Schroten, A. (2007). *Traffic noise reduction in Europe. Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise*. CE Delft. Obtido de http://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2008-02_traffic_noise_ce_delft_report.pdf
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. Obtido de https://books.google.es/books/about/The_Vertical_Farm.html?id=tjMLVfcInX0C&pgis=1

- Devlin, T. M. (2006). *Bioquímica* (4ª ed.). Barcelona: Reverté.
- Di, H. F., & Wang, D. N. (1999). Cooling Effect of Ivy on a Wall. *Experimental Heat Transfer*, 12(3), 235–245. <http://doi.org/10.1080/089161599269708>
- Dijkstra, K., Pieterse, M. E., & Pruyn, A. (2008). Stress-reducing effects of indoor plants in the built healthcare environment: the mediating role of perceived attractiveness. *Preventive medicine*, 47(3), 279–83. <http://doi.org/10.1016/j.ypmed.2008.01.013>
- Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeo do Consello de 21 de Maio de 2008 relativa á calidade do aire ambiente e a unha atmosfera máis limpa en Europa. (2008). *Diario Oficial da Unión Europea*, L 152, 1–44. Obtido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32008L0050>
- Documento Básico HR - Protección frente al ruido. (2009). *Código Técnico de la Edificación*. Obtido de <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/0155F82F-4091-40A0-ADFE-7AB60CE5183A/95715/15.pdf>
- Domínguez, M., & Santamaría, S. Importancia de la inercia térmica en los cerramientos. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.conarquitectura.com/articulos tecnicos pdf/03.pdf>
- Dover, J. W. (2015). *Green Infrastructure: Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments*. Routledge. Obtido de <https://books.google.com/books?id=auEsCgAAQBAJ&pgis=1>
- Drip&Fresh. Nebulización y pulverización de gama doméstica. Obtido 29 de Agosto de 2015, de <https://nebulizacion.es/gama-domestica/>
- Duffus, J. H. (2002). «Heavy metals» a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793–807. <http://doi.org/10.1351/pac200274050793>
- Envolventec. Módulo Biofiver BFV-110. Envolventec. Obtido de <http://www.envolventec.es/biofiver-jardin-vertical/sistemas/biofiver-bfv-110/>

- Eroski Consumer. (2001). Metales pesados: Toda una amenaza. *Eroski Consumer*.
Obtido de <http://revista.consumer.es/web/es/20010301/medioambiente/>
- Esteller, J. M. M. (2012). *Instalaciones de megafonía y sonorización*. Obtido de
https://books.google.es/books/about/Instalaciones_de_megafon%C3%ADa_y_sonorizaci.html?id=GoWlWin-YosC&pgis=1
- Eumorfopoulou, E., & Aravantinos, D. (1998). The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings*, 27(1), 29–36.
[http://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00023-6](http://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00023-6)
- Feist, W. C., & Mraz, E. A. (1978). Comparison of outdoor and accelerated weathering of unprotected softwoods. *Forest products journal*, 28(3), 38–42.
- Fetze, J. C. (2007). The Chemistry and Analysis of large PAHs. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 27:2, 143–162. <http://doi.org/10.1080/10406630701268255>
- Flora Grubb Gardens. Thigmotrope Satellite Fleet. Obtido 12 de Agosto de 2015, de
<http://shop.floragrubb.com/thigmotrope-satellite-fleet/>
- Fomento, M. de. Documento Básico HS, Código técnico de la edificación. España.
Obtido de <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/45D0776A-CDBD-4939-8376-4E9B7A4F99EB/110589/14.pdf>
- Fondo de Población de la Naciones Unidas (UNFPA). (2007). Estado de la población mundial. Obtido 18 de Agosto de 2015, de
http://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/swp2007_spa.pdf
- Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. *Journal of environmental management*, 92(6), 1429–37.
<http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012>
- Furuno, S., Foss, S., Wild, E., Jones, K. C., Semple, K. T., Harms, H., & Wick, L. Y. (2012). Mycelia promote active transport and spatial dispersion of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Science and Technology*, 46(10), 5463–5470.
<http://doi.org/10.1021/es300810b>
- Gálvez, F. Flora Vascular. Obtido 28 de Agosto de 2015, de
<http://www.floravascular.com/>

- García, X. R. (2013). *Guía das plantas de Galicia* (2ª ed.). Vigo: Edicións Xerais de Galicia.
- Gates, D. M. (2003). *Biophysical Ecology*. Courier Corporation. Obtido de https://books.google.es/books/about/Biophysical_Ecology.html?id=Lx1BclFf7QIC&pgis=1
- Gates, D. M., Keegan, H. J., Schleter, J. C., & Weidner, V. R. (1965). Spectral Properties of Plants. *Applied Optics*, 4(1), 11. <http://doi.org/10.1364/AO.4.000011>
- Geer, I. W. (1996). *Glossary of Weather and Climate: With Related Oceanic and Hydrologic Terms, Volumen 2*. Boston: American Meteorological Society. Obtido de https://books.google.es/books/about/Glossary_of_Weather_and_Climate.html?id=ktbaAAAAMAAJ&pgis=1
- Geotexan. Geotexan volumétrica. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://geotexan.com/productos-relacionados/>
- Gerhardt, C., & Vale, B. (2010). Comparison of resource use and environmental performance of green walls with façade greenings and extensive green roofs. *New Zealand Sustainable Building Conference*. Obtido de http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php?id=20daaf800a4be3f8fcb33d5d1746e622a875e0c5
- Gibson, J. H. (2000). UVB Radiation: Definition and Characteristics. UV-B Monitoring and Research Program. Obtido de http://uvb.nrel.colostate.edu/UVB/publications/uvb_primer.pdf
- González Rodríguez, A. (2004). *Diccionario Visual da Construción*. (A. González Rodríguez, Ed.). Santiago de Compostela: (COAG) Colexio Oficial de Arquitectos de Galicia. Obtido de <https://composicionarqdatos.files.wordpress.com/2008/09/macmillan-visualdictionary-construcion.pdf>
- Greenscreen®. Obtido de <http://greenscreen.com/projects/photo-gallery/>

grupacer.com. Sujeción poste Omega. Obtido 31 de Agosto de 2015, de <http://www.grupacer.com/tienda/cerramientos/puertas-cerca/sujecion-omega/sujecion-poste-omega>

Hernández Cortés, J. A. (2013). Regulación del Cierre Estomático: una Función Representada por Varios Actores. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <https://cienciacebas.wordpress.com/2013/12/12/regulacion-del-cierre-estomatico-una-funcion-representada-por-varios-actores/>

Hidroponia Argentina. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.argentinahidroponia.com/>

Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2015). Quantifying cooling effects of facade greening: shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>

Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X. & Maskell, K., & Johnson, C. A. (2001). *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. Obtido de http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm

Hydro Environment. Instructivo para instalar broche sujetador para malla. Obtido 28 de Agosto de 2015, de http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=118

Ibáñez, J. J. (2013). Hongos, rizosfera, transporte de contaminantes y remediación de sitios contaminados. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/03/04/142792>

Ikonta. (2006). Muros vegetales: cómo se hacen. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.infojardin.com/foro/showthread.php?t=2799>

ILG / RAG (Instituto da Lingua Galega / Real Academia Galega). (2005). *Normas ortográficas e morfolóxicas do idioma galego*. Obtido de http://academia.gal/documents/guest/Recursos/normas_galego05.pdf

- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2013). Contaminación del aire en interiores. México. Obtido de <http://www.inecc.gob.mx/dica/515-calaire-aire-intramuros>
- INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). (2006a). Dióxido de azufre. Obtido 13 de Agosto de 2015, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0074.pdf>
- INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). (2006b). Ficha internacional de seguridad química del dióxido de carbono. España. Obtido de www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0021.pdf
- INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). (2007). Fichas Internacionales de Seguridad Química. Monóxido de carbono. España: Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Obtido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0023.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (2009). Agricultura y ganadería en España y Europa. Obtido 18 de Agosto de 2015, de http://www.ine.es/censoagrario/censoag_folleto.pdf
- Isbert Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Universitat Politècnica de Catalunya. Obtido de https://books.google.es/books/about/Dise%C3%B1o_ac%C3%B1stico_de_espacios_arquitect.html?id=mceSsNa6U3IC&pgis=1
- Jim, C. Y., & He, H. (2011). Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecological Engineering*, 37(8), 1112-1122. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.005>
- Johnston, J., & Newton, J. (2004). *Building Green. A guide to using plants on roofs, walls and pavements*. London: Greater London Authority. Obtido de http://legacy.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building_Green_main_text.pdf

- JRC (Joint Research Centre). (2015). Average Daily Solar Irradiance - PV potential estimation utility. Obtido 25 de Agosto de 2015, de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- Kaplan, R. (2001). The Nature of the View from Home: Psychological Benefits. *Environment and Behavior*, 33(4), 507-542. <http://doi.org/10.1177/00139160121973115>
- Kim, K. J., Kil, M. J., Song, J. S., Yoo, E. H., Son, K.-C., & Kays, S. J. (2008). Efficiency of Volatile Formaldehyde Removal by Indoor Plants: Contribution of Aerial Plant Parts versus the Root Zone. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133(4), 521-526. Obtido de <http://journal.ashspublications.org/content/133/4/521.full>
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*, 45(5), 1287-1303. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013>
- Kotsiris, G., Androutsopoulos, A., Polychroni, E., & Nektarios, P. A. (2012). Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs. *Energy and Buildings*, 45, 240-249. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.005>
- Kowarik, I. (1995). On the role of alien species in urban flora and vegetation. Em P. P., K. Prach, M. Rejmánek, & M. Wade (Eds.), *Plant Invasions. General aspects and special problems* (pp. 85-103). Amsterdam: SPB Academic Publishing.
- Kragh, J. (1979). Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees. *Journal of Sound and Vibration*, 66(3), 407-415. [http://doi.org/10.1016/0022-460X\(79\)90859-9](http://doi.org/10.1016/0022-460X(79)90859-9)
- Kramer, P. J. (1983). *Water Relations of Plants. Water Relations of Plants*. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-425040-6.50002-3>
- Krushe, P., Krushe, M., Althaus, D., & Gabriel, I. (1982). *Ökologisches Bauen Herausgegeben vom Umweltbundesamt*No Title. Berlin: Bauverlag, Wiesbaden und Berlin.
- Kurasek, B. (2010). Vertical Farming. Obtido 18 de Agosto de 2015, de <http://blakekurasek.com/verticalfarming.html>

- Lafarge. (2013). Inercia térmica en edificación. Madrid: Lafarge. Obtido de http://www.lafarge.com.es/6.1.3_ESP_-_Thermal_mass_in_buildings_corp_ESP.pdf
- Lagström, J. Do Extensive Green Roofs Reduce Noise? Obtido de http://www.researchgate.net/publication/237640626_Do_Extensive_Green_Roofs_Reduce_Noise
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups* (4ª ed.). Berlin / Heidelberg / New York: Springer-Verlag.
- Lawlor, D. W. (1993). *Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes*. Londres: Longman scientific & technical.
- Le Prieuré Vegetal i.D. Système modulaire VERTIPACK®. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.vegetalid.fr/solutions-vegetalisation/mur-vegetal/systeme-modulaire-vertipack.html>
- Lei 34/2007, do 15 de novembro, de calidade do aire e protección da atmosfera. (2007). *BOE*, 275, 3691-3716. Obtido de https://www.boe.es/boe_gallego/dias/2007/11/21/pdfs/A03691-03716.pdf
- Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído. (2003). *BOE* 276, 18 de novembro de 2003, 40494-40505. Obtido de https://www.boe.es/boe_gallego/dias/2003/11/24/pdfs/A02420-02431.pdf
- Liu, R., Xiao, N., Wei, S., Zhao, L., & An, J. (2014). Rhizosphere effects of PAH-contaminated soil phytoremediation using a special plant named Fire Phoenix. *Science of the Total Environment*, 473-474, 350-358. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.027>
- Madre, F., Clergeau, P., Machon, N., & Vergnes, A. (2015). Building biodiversity: Vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages. *Global Ecology and Conservation*, 3, 222-233. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.11.016>
- Madre, F., Vergnes, A., Machon, N., & Clergeau, P. (2014). Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. *Landscape and Urban Planning*, 122, 100-107. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.012>

- Malys, L., Musy, M., & Inard, C. (2014). A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption. *Building and Environment*, 73, 187–197. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.012>
- Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Madrid / México: Reverté / Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mann, P., Gahagan, L., & Gordon, M. B. (2003). Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields. Em *Giant oil and gas fields of the decade 1990-1999*, AAPG Memoir 78 (pp. 15 – 105). American Association of Petroleum Geologists. Obtido de http://www.researchgate.net/profile/Paul_Mann3/publication/236235439_Tectonic_setting_of_the_world's_giant_oil_and_gas_fields/links/02e7e5174b449cd3b3000000.pdf
- Martínez Ataz, E., & Díaz de Mera Morales, Y. (2004). *Contaminación atmosférica*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Martínez Cortizas, A., Castillo Rodríguez, F., Pérez Alberti, A., Valcárcel Díaz, M., & Blanco Chao, R. (1999). *Atlas Climático de Galicia*. Xunta de Galicia. Obtido de <http://www.meteogalicia.es/datosred/infoweb/meteo/docs/publicacions/libros/AtlasClimaticoGalicia.pdf>
- Matt, S. (2012). Green façades provide habitat for arthropods on buildings in the Washington, D.C. metro area. Obtido de <http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/13112>
- Mcpherson, E. G., Nowak, D. J., & Rowntree, R. A. (1994). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Obtido de http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf
- McVay, K., & Rice, C. W. (2005). El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. Conociendo el suelo. *Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa [AAPRESID]*, 5–8.
- Meagher, R. B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3(2), 153–162. [http://doi.org/10.1016/S1369-5266\(99\)00054-0](http://doi.org/10.1016/S1369-5266(99)00054-0)

- Menéndez Valderrey, J. L., Oliveros Pérez, J., Fernández, R. R., Rubio, E., & Lorenzo Corchón, A. (2015, Agosto 24). asturnatura.com. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.asturnatura.com/>
- Minke, G., & Witter, G. (1985). *Häuser mit Grünem Pelz: ein Handbuch zur Hausbegrünung*. Köln: Rudolf Müller.
- Morales, J. infojardin.com. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.infojardin.com/>
- MSSSI (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad). (2012). Resumen ejecutivo - Efectos del ruido en la salud. Obtido de <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/efectosRuidoSalud.pdf>
- Munguía, S. S., & Ripa, J. T. (2009). *Historia de las plantas en el mundo antiguo*. Editorial CSIC - CSIC Press. Obtido de <https://books.google.com/books?id=rNFspzc-ps0C&pgis=1>
- National Museum of Iceland. (2011). The Turf House Tradition. Obtido 19 de Agosto de 2015, de <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/5589/>
- Newgrange. Obtido 27 de Agosto de 2015, de https://www.doomore.com/uploaded_files/product/1411326323-1-IMG_0860.jpg
- Nieto Sobejano. (2012). La ampliación de San Telmo, premiada en la VIII Bienal de Arquitectura Iberoamericana. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.santelmomuseoa.com/blog/tag/nieto-sobejano/>
- NTP (National Toxicology Program). (2014). *Report on Carcinogens, Thirteenth Edition*. Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Obtido de <http://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/roc13/>
- Oliver Fronteriz, J. (2013). Davallia Canariensis, Cabriña, Helecho Calalagua, Feto dos carvalhos, Davalia, Helecho canario, Helecho pata de liebre, Carraguala, Filis de mar, Cochinita, Pulipuli, Calaguala |. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://plantasvillor.es/davallia-canariensis-cabrina-helecho-calalagua-feto-dos-carvalhos-davalia-helecho-canario-helecho-pata-de-liebre-carraguala-filis-de-mar-cochinita-pulipuli-calaguala/>

- Olivieri, F. (2013). *Caracterización experimental y modelo predictivo del comportamiento térmico de una fachada vegetal*.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2014). Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2013. *Boletín de la OMM sobre los gases de efecto invernadero*, 10. Obtido de https://www.wmo.int/pages/documents/ghg-bulletin_10_es.pdf
- Ormaechea Alegre, E. Hábitos de vida saludable: Ruido y salud. Obtido 13 de Agosto de 2015, de <http://www.mapfre.es/salud/es/cinformativo/ruido-salud.shtml>
- Orwell, R. L., Wood, R. L., Tarran, J., Torpy, F., & Burchett, M. D. (2004). Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality. *Water, Air, and Soil Pollution*, 157(1-4), 193-207. <http://doi.org/10.1023/B:WATE.0000038896.55713.5b>
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, a. L. a, Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419-3429. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Ottelé, M., van Bohemen, H. D., & Fraaij, A. L. A. a. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, 36(2), 154-162. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.007>
- Paisaje Vertical.   C  mo lo hago? Obtido 20 de Agosto de 2015, de <http://paisajevertical.com/index.php/como-lo-hago/como-lo-hago-3>
- Paisaje Vertical. Naturpanel. Obtido 20 de Agosto de 2015, de <http://paisajevertical.com/index.php/naturpanel>
- Paisajes del Sur. Jardin Vertical. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.restauracionpaisajistica.com/obras-y-servicios/jardin-vertical/>
- Pancorbo, F. J. (2010). *Corrosi  n, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona: Marcombo.

- Peles, Y. Fundamentals of Thermal Radiation. Rensselaer Polytechnic Institute. Obtido de [https://web.archive.org/web/20130512182659/http://www.me.nchu.edu.tw/Enter/html/lab/lab516/Heat Transfer/chapter--12.pdf](https://web.archive.org/web/20130512182659/http://www.me.nchu.edu.tw/Enter/html/lab/lab516/Heat%20Transfer/chapter--12.pdf)
- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287-2294. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110-121. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.012>
- Precio Centro. Visualizador de precios para construcción - Cuadro de precios descompuestos. Obtido de <http://www.preciocentro.com/content/6-visualizador-precio-centro>
- Priestley, J. (2013). *Experiments and observations on different kinds of air* (1   edici  n, Vol. 2). Cambridge: Cambridge University Press.
- Prieto Fernández, E. (2013). *Valoraci  n de alternativas en paneles vegetales prefabricados*. Euskal Herriko Unibertsitatea. Obtido de <https://addi.ehu.es/handle/10810/10649>
- Raanaas, R. K., Evensen, K. H., Rich, D., S        , G., & Patil, G. (2011). Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting. *Journal of Environmental Psychology*, 31(1), 99-105. <http://doi.org/10.1016/j.jenvp.2010.11.005>
- RAE (Real Academia Española). (2012). *Diccionario de la Real Academia Española* (22   ed.).
- RAG (Real Academia Galega). (2012). *Dicionario da Real Academia Galega - Real Academia Galega*. Real Academia Galega. Obtido de <http://academia.gal/diccionario>

- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, 180(2), 169–81. <http://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- Real decreto 102/2011, do 28 de xaneiro, relativo á mellora da calidade do aire. (2011). *BOE*, 25, 9574–9626. Obtido de https://www.boe.es/boe_gallego/dias/2011/01/29/pdfs/BOE-A-2011-1645-G.pdf
- Real Decreto 1909/1981, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81 sobre las condiciones acústicas de los edificios. (1981). *BOE*, 214, 20556–20577. Obtido de <https://www.boe.es/boe/dias/1981/09/07/pdfs/A20556-20577.pdf>
- Real Jardín Botánico, & CSIC. (2015). Flora Iberica. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.floraiberica.es/>
- Reid, J. p., & Sayer, R. M. (2002). Chemistry in the clouds: the role of aerosols in atmospheric chemistry, 85(3), 263–296. Obtido de <http://www.ingentaconnect.com/content/stl/sciprg/2002/00000085/00000003/art00004?crawler=true>
- Richart de la Cruz, M., & Richart de la Cruz, A. I. Paivert. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.paivert.com/>
- Robinson, S. A., & Wilson, S. R. (2010). *Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2010 assessment*. United Nations Environment Programme (UNEP). Obtido de http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/EEAP/eeap-report2010.pdf
- Rosen, J. Airplantman. Obtido 21 de Agosto de 2015, de <http://airplantman.myshopify.com/>
- SAG (Servicio Agrícola). *Metales pesados en el suelo*. Chile: Ministerio de Agricultura. Obtido de http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf

- San Andrés, M., Chércoles, R., de la Roja, J. M., & Gómez, M. (2010). Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en Conservación de objetos patrimoniales. Primeros resultados. *Proceedings XI Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo (GEIIC)*. Madrid: Departamento de Conservación-Restauración del Museo Reina Sofía. Obtido de <http://www.mecd.gob.es/cultura-mecd/gl/dms/mecd/cultura-mecd/areas-cultura/patrimonio/mc/polyevart/bibliografia-y-enlaces-de-interes/FactrespXIReinaSof.pdf>
- San Andrés Moya, M., & Viña Ferrer, S. (2004). *Fundamentos de química y física para la conservación y restauración*. Madrid: Síntesis.
- Sancho Ávila, J. M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M. C., Montero Cadalso, J., & López Bartolomé, M. (2012). *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMESTAT*. Axencia Estatal de Meteoroloxía. Obtido de http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf
- Sandmann, E. R. I. C., & Loos, M. A. (1984). Enumeration of 2,4-D-degrading microorganisms in soils and crop plant rhizospheres using indicator media; high populations associated with sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Chemosphere*, 13(9), 1073–1084. [http://doi.org/10.1016/0045-6535\(84\)90066-3](http://doi.org/10.1016/0045-6535(84)90066-3)
- Sanmartín Rei, G. (Ed.). (2012). *Criterios para o uso da lingua* (3ª ed.). Servizo de Publicacións da UDC. Obtido de http://www.udc.gal/snl/documentospdf/Libro_Criterios_lingua.pdf
- Santiago Netto, R. Tabla de Conductividad Térmica (λ). Obtido 12 de Agosto de 2015, de http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php
- Sell, J., & Leukens, U. (1971). Investigations of weathered wood surfaces—Part II: Weathering phenomena of unprotected wood species. *European Journal of Wood and Wood Products*, 29(1), 23–31.

Sell, J., & Wälchli, O. (1969). Changes in the surface texture of weather-exposed wood. *Material und Organismen*, 4(2), 81-87.

Serramia Ruiz, J., Riquelme Ortega, H., & Chaparro Bastante, A. Urbanarbolismo. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/>

Shevory, K. (2010). Gardens that grown on walls. Obtido 21 de Agosto de 2015, de http://www.nytimes.com/2010/05/06/garden/06vertical.html?_r=0

Short, N. M. (1982). The Landsat Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing. Washington: NASA.

Sierra Villagrana, R. (2006). *Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial (página 2) - Monografias.com*. Universidad Autónoma Agraria «Antonio Narro». Obtido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/fitorremediacion/fitorremediacion2.shtml#ixzz3goOTaTCz>

SLI (Seminario de Lingüística Informática) / ILG (Instituto da Lingua Galega). (2013). DdD - Dicionario de dicionarios da lingua galega. Obtido 28 de Agosto de 2015, de <http://sli.uvigo.es/DdD/>

SLI (Seminario de Lingüística Informática) / ILG (Instituto da Lingua Galega). (2015). RILG (Recursos Integrados da Lingua Galega). Obtido 30 de Agosto de 2015, de <http://sli.uvigo.es/RILG/>

SNL da USC (Servizo de Normalización Lingüística da Universidade de Santiago de Compostela). (2012). bUSCatermos. Obtido 30 de Agosto de 2015, de <https://aplicacions.usc.es/buscatermos/publica/index.htm>

Sohn, K.-R., Sohn, C.-W., & Kim, S.-H. (2012). A Study on the White LED-based Underwater and Surface-to-Underwater Optical Wireless Communication Systems. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 36(2), 309-314. <http://doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.2.309>

Spectrum. Estudiando a la luz [folleto]. Obtido 12 de Agosto de 2015, de http://www.rymca.com/pdf/invernaderos/Light_brochure_dli100.pdf

- Spikebrennan. (2007). Ivy on Chicago University campus building. Wikimedia Commons. Obtido de https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Ivy_on_Chicago_University_campus_building.jpg&oldid=148986688&uselang=gl
- Spiro, T. G., & Stigliani, W. M. (2003). *Química medioambiental* (2ª ed.). Madrid: Pearson.
- Stahl, C. (2015a). Greencable Greenery System. Obtido 20 de Agosto de 2015, de http://www.carlstahl-architektur.com/fileadmin//downloads/pdf/broschueren/produkt/Carl_Stahl-GREENCABLE.pdf
- Stahl, C. (2015b). Press photos. Obtido 20 de Agosto de 2015, de <http://www.carlstahl-architektur.com/en/downloads/>
- Sternberg, T., Viles, H., & Cathersides, A. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, 46(2), 293-297. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.017>
- SunEarthTools.com. (2015). Calculation of sun's position in the sky for each location on the earth at any time of day. Obtido 25 de Agosto de 2015, de http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php#form
- Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., & Brent Stephens. (2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, 67, 1-13. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 1 e 2). Castellón de la Plana: Universitat Jaume I.
- Teitelbaum, D. (2009). Introducción a la toxicología ocupacional y ambiental. *Farmacología básica y clínica. Lange médica*, 987-998. Obtido de https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAAahUKEwj0qa_BpqPHAhXKfhoKHcUwDIg&url=http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/000000821x/980061/Katzung_Farmacologia_12a_capitulo_muestra_c056_Toxicologia.p

- The University of Tennessee Agricultural Extension Service. (1998). SP517 Evergreen Trees for Screens and Hedges in the Landscape. *Forestry, Trees, and Timber*, -15M-7/98 . Obtido de http://trace.tennessee.edu/utk_agexfores/51
- Tox Town. (a). Clorofluorocarbonos (CFC). U.S. National Library of Medicine. Obtido de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=40>
- Tox Town. (b). Contaminantes orgánicos persistentes (COP). Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=85>
- Tox Town. (c). Material en partículas. U.S. National Library of Medicine. Obtido de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=52>
- Tox Town. (d). Ozono. U.S. National Library of Medicine. Obtido de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=55>
- Tox Town. (2015). Compuestos orgánicos volátiles (COV). U.S. National Library of Medicine. Obtido de <http://toxtown.nlm.nih.gov/espanol/chemicals.php?id=41>
- UNE-EN 12354 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos.
- UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). (2012). Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas 'vivas' con líquenes, musgos y otros microorganismos. Universitat Politècnica de Catalunya. Obtido de http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/desarrollan-un-hormigon-biologico-para-construir-fachadas-2018vivas2019-con-liquenes-musgos-y-otros-microorganismos?set_language=es
- Urbanarbolismo. Jardines verticales. Obtido 21 de Agosto de 2015, de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/fachadas-vegetales-urbanarbolismo/>
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., & Verheyen, K. (2012). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, 331(10), 2404–2425. <http://doi.org/10.1016/j.jsv.2012.01.006>
- Varios autores. (2015). Newgrange. Obtido 19 de Agosto de 2015, de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Newgrange&oldid=79910337>

- Vaughan, P. (2001). *Estimación de contenido de humedad de la vegetación mediante espectroradiometría*. Universidad de Alcalá. Obtido de http://www.investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/sites/investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/files/files/uploads/TESINA_VAUGHAN_P_2001_0.pdf
- Vaughan, P., Chuvieco Salinero, E., & Riaño, D. (2000). Bases para estimar el contenido de humedad en plantas mediterráneas a partir de la teledetección. *Mediterránea: serie de estudios biológicos*, 17, 27–34.
- Vertiflor. Jardinera vertical V15. *Vertiflor*. Vertiflor. Obtido de <http://www.vertiflor.com/botiga/producto/jardinera-vertical-v15/>
- Vilaça, J. (2005). *Plantas tropicais: guia práctico para o novo paisagismo*. NBL Editora. Obtido de <https://books.google.com/books?id=5pBrVjZmGwoC&pgis=1>
- Viles, H., Sternberg, T., & Cathersides, A. (2011). Is Ivy Good or Bad for Historic Walls? *Journal of Architectural Conservation*, 17(2), 25–41. <http://doi.org/10.1080/13556207.2011.10785087>
- Waldbauer, G. (2009). *What Good Are Bugs? Insects in the Web of Life*. (G. WALDBAUER, Ed.). Harvard University Press. Obtido de https://books.google.com/books?id=Vis8XubJ_-QC&pgis=1
- Westman, W. E., & Price, C. V. (1988). Spectral changes in conifers subjected to air pollution and water stress: experimental studies. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 26(1), 11–21.
- Wolverton, B. C. (2009). Wolverton Environmental Services, Inc. 1 April 2009 Improving Indoor Air Quality with Plant-Based Systems. Obtido 12 de Agosto de 2015, de http://landscapeontario.com/attach/1301596722.Improving_Indoor_Air_Quality_with_Plant-Based_Systems.pdf
- Wolverton, B. C., Douglas, W. L., & Bounds, K. (1989). A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Obtido 12 de Agosto de 2015, de https://archive.org/details/nasa_techdoc_19930072988

- Wolverton, B. C., Johnson, A., & Bounds, K. (1989). Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Obtido de <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930073077.pdf>
- Wolverton, B. C., & McDonald, R. C. (1985). Foliage Plants for Indoor Removal of the Primary Combustion Gases. Carbon Monoxide and Nitrogen Dioxide. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*, 30, 1-8. Obtido de <http://www.wolvertonenvironmental.com/MsAcad-85.pdf>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411-420. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>
- Xunta de Galicia. (2007). *Plantas invasoras de Galicia*. Obtido de [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/plantas/Plantas aloctonas/Plantas invasoras de Galicia.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/plantas/Plantas_aloctonas/Plantas_invasoras_de_Galicia.pdf)
- Yang, H.-S., Kang, J., & Cheal, C. (2013). Random-Incidence Absorption and Scattering Coefficients of Vegetation. *Acta Acustica united with Acustica*, 99(3), 379-388. <http://doi.org/10.3813/AAA.918619>
- Zori del Amo, J. Patios cordobeses: el pique vecinal se convierte en Patrimonio de la Humanidad. Obtido 12 de Agosto de 2015, de <http://www.traveler.es/viajes/viajes-urbanos/articulos/patios-cordobeses-claves-del-ultimo-bien-inmaterial-de-la-humanidad-espanol/2807>



Esta obra licenciose coa Licenza Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Para ver unha copia desta licenza, visite <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA